

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Neelektrolytické nanášení Zn lamel – tribologické povlaky

Non – Electrolytic Application of Zn Lamel – Tribologic Coatings

Student:

Tomáš Mastela

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. František Kristofory, CSc.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Mastela**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Specializace: 70 Strojírenská technologie
Téma: **Neelektrolytické nanášení Zn lamel-tribologické povlaky**
Non-Electrolytic Application of Zn Lamel-Tribologic Coatings

Zásady pro vypracování:

1. Zhodnocení současného stavu a možnosti využití povlaku.
2. Princip nanášení povlaku.
3. Návrh technologického postupu nanášení.
4. Vyhodnocení fyzikálních a mech. vlastností nanášených povlaků.
5. Zhodnocení a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

BLAŠKOVÍČ, P., BALLA, J., DZIMKO, M. *Tribológia*. Bratislava: Alfa, 1990
PLUHAŘ, J., KORYTTA, J. *Strojírenské materiály*. Praha: SNTL, 1977
SEDLÁČEK, V. *Povrchy a povlaky kovů*. Praha: ČVUT, 1992
PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1997, 76 s.
MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1995, 251 s.
PRŮŠEK, J. a kol. *Hodnocení jakosti a účinnosti protikorozních ochranných povlaků strojírenských výrobků*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1985, 288 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. František Kristofory, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010


prof. Ing. Jiří Mrubý, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

26.5.2010
V Ostravě

Tomáš Mareš
.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

26.5.2010

V Ostravě :

Tomáš Mastela

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Mastela

Adresa trvalého pobytu autora práce: Nádražní 246/21, 78335 Skrběň

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MASTELA, T. *Neelektrolytické nanášení Zn lamel – tribologické povlaky: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2010, 69 s. Vedoucí práce: doc. Ing. František Kristofory, CSc.

Bakalářská práce se zabývá technologií povrchových úprav neelektrolytickým nanášením Zn lamel. V úvodu se zmiňuji o ekologických požadavcích legislativy Evropské unie. Dále jsou popsány výhody povlaku, které podstatně rozšiřují možnosti využití povlaku. Z velké části práce popisují technologii Delta-MKS, kde se zmiňuji o jednotlivých povlakovacích materiálech a možnostech nanášení povlaku. Závěru práce se zabývám ověřením, vyhodnocením mechanických a fyzikálních vlastností naneseného povlaku na zkušebních vzorcích, které nám věnovala společnost SVUM-CZ, s.r.o. Na základě výsledků z experimentů bude provedeno zhodnocení jednotlivých povlaků v závěru.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MASTELA, T. *Non – Electrolytic Application of Zn Lamel – Tribologic Coatings: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2010, 69 p. Thesis head: doc. Ing. František Kristofory, CSc.

Bachelor thesis deals with the technology of surface treatment coating Non-electrolytic application of Zn lamella. In the introduction to mention the environmental requirements of European Union legislation. The following describes the benefits of the coating, which significantly expand the use of the coating. For the most part describes the technology of the Delta-MKS, which focus on the different coating materials and possibilities of applying the coating. Conclusion of the work deals with the verification, evaluation of mechanical and physical properties of coatings deposited on specimens that are donated by SVUM-CZ, s.r.o. Based on the results of the experiments will be carried out evaluation of coatings at the end.

Obsah

	strana
0 Úvod	9
1 Zhodnocení současného stavu a možnosti využití povlaku	10
2 Principy nanášení povlaku	15
2.1 Povlakovací materiály v technologii Delta-MKS	15
2.1.1 Základní povlakovací materiály (basecoaty)	15
2.1.2 Vrchní povlakovací materiály (topcoaty)	17
2.2 Postupy vytváření povlaku	18
2.3 Postupy vytváření povlaku u technologie Delta-MKS	20
2.3.1 Máčení s odstředěním a s optimalizovanou výškou pádu	20
2.3.2 Máčení s odstředěním	21
2.3.3 Ponoření s vytáhnutím	22
2.3.4 EC-stroj 2000+	22
2.3.5 Omega stroj	23
2.3.6 Ponoření s odstředěním	23
2.3.7 Stříkáním	24
2.3.8 Robotické stříkání	25
3 Technologický postup nanášení mikrolamel zinku	26
3.1 Předběžné úpravy povrchu materiálu	26
3.1.1 Chemické úpravy povrchu	27
3.1.2 Odmašťování	27
3.1.3 Mechanické úpravy povrchu	30
3.1.4 Otryskávání	30
3.2 Zinkové fosfátování	32
3.3 Nanášení povlaku	33
3.3.1 Postup nanesení povlaku Delta-Protekt KL 100	33

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	34
4 Vyhodnocení fyzikálních a mech. vlastností nanesených povlaků	34
4.1 Zkušební vzorky pro experimentální část.....	34
4.2 Zkouška adhezního opotřebení	36
4.3 Zkouška korozní odolnosti dle ČSN EN ISO 9227 v neutrální solné mlze	38
4.4 Měření tloušťky povlaků	40
5 Zhodnocení dosažených výsledků v experimentální části.....	41
5.1 Adhezní opotřebení	41
5.2 Korozní odolnost dle ČSN EN ISO 9227 v neutrální solné mlze	48
5.3 Tloušťka povlaků	54
6 Závěr	65
7 Seznam použité literatury.....	68

Seznam použitých značek a symbolů

D	průměr kuličky	[mm]
HRC	tvrdost podle Rockwella	[–]
HV	tvrdost podle Vickerse	[–]
I	intenzita ultrazvuku	[W/cm ²]
L	střední průměr kulového vrchlíku	[μm]
N	počet oběhů kuličky	[–]
R _m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
S	plocha	[μm ²]
f	kmitočet	[Hz]
h	průměrná hloubka kulového vrchlíku	[μm]
m _s	plošná hmotnost	[g/m ²]
n	otáčky	[min ⁻¹]
o	obvod	[μm]
pH	kyselost	[–]
t	Celsiova teplota	[°C]
t	čas	[s]
t	tloušťka povlaku	[μm]
v	rychlost	[m/s]
μ	součinitel tření	[–]
ρ	hustota	[g/cm ³]

0 Úvod

Jedním z cílů povrchových úprav v automobilovém průmyslu je omezení korozních a dalších destruktivních dějů a což přispívá k dokonalejšímu využívání materiálu. Dochází ke zvýšení životnosti materiálu a úspoře energií a to má příznivý vliv na životní prostředí. V poslední době došlo k zjištění i k negativním důsledkům povrchových úprav na životní prostředí. Jedná se hlavně o prostředky a materiály používané při procesech odmašťování, moření, k tvorbě galvanických a organických povlaků. Vzhledem k ekologickým požadavkům legislativy Evropské unie v automobilovém průmyslu je důležité vyřešit náhradu za dokončovací operaci pasivaci chromátováním, která následuje po galvanickém zinkování. Chromátová vrstva může uvolňovat ionty šestimocného chromu do prostředí, které jsou velice karcinogenní a toxické. Velký problém vzniká při likvidaci a zpětného použití materiálu z automobilových součástí, které jsou upraveny pasivaci chromátováním na konci jejich životnosti. Vhodný způsob k vyřešení problému je zavedení jiných alternativních způsobů zinkování za klasické způsoby zinkování např. galvanické zinkování. Jednou z progresivních metod povrchových úprav, které vyhovují ekologickým požadavkům Evropské unie i kritériím výrobců automobilového průmyslu jsou neelektrolyticky nanášené mikrolamely zinku. [14]

Úvodní část bakalářské práce se zabývá zavedením povlakování s neelektrolyticky nanášenými povlaky na automobilových dílech v Evropské unii. Dále popisují jednu z mnoha technologií neelektrolyticky nanášených povlaků, která má obchodní označení Delta-MKS. Technologií povrchové úpravy Delta-MKS povlakuje v České republice společnost SVUM-CZ, s.r.o. v Kolíně, která nám věnovala zkušební vzorky. Následně navazuje technologický postup od čištění povrchu povlakované součásti až po samotný způsob nanášení povlaku. Druhá část bakalářské práce se zabývá ověřením a vyhodnocením mechanických a fyzikálních vlastností nanášeného povlaku. Na zkušebních vzorcích bude provedena zkouška adhezního opotřebení, zkouška korozní odolnosti po vzniku opotřebení a měření tloušťky povlaků. A na základě výsledků z experimentů bude provedeno porovnání a zhodnocení jednotlivých nanášených povlaků a doporučení použití povlaků.

1 Zhodnocení současného stavu a možnosti využití povlaku

Se zvyšujícími se požadavky na ekologii odsouhlasil Evropský parlament snížení nebezpečných látek v automobilech. Pod názvem „End of Life Vehicles“ („konec života automobilů“) vyhlášky 2000/53/EG o likvidaci a zpětného použití materiálu z automobilových součástí na konci jejich životnosti. Vyhláška stanovuje, že od 1. července 2003 nesmí vozidla uvedená do provozu obsahovat žádné olovo, rtuť, kadmium a šestimocný chrom. Maximální hodnota použití šestimocného chromu v automobilu do 3750 kg je 2 g a z toho důvodu, protože nelze změřit kolik automobil obsahuje šestimocného chromu. Je zakázáno šestimocný chrom používat v galvanizovnách při dokončovací operaci pasivaci chromátováním. Z důvodu své toxicity způsobuje podráždění, alergii pokožky, které vyvolají další onemocnění např. astmatické potíže, leptají sliznice a poškozují ledviny. Jednou z možností, která není ekonomicky náročná a vyhovuje požadavkům Evropské unie a výrobcům automobilů jsou neelektrolyticky nanášené povlaky s mikrolamelami zinku. Tato metoda neobsahuje žádné těžké kovy, které jsou zdraví nebezpečné. Tuto progresivní technologii vyvinuli v polovině sedmdesátých let USA ve snaze vyhovět výrobcům automobilů. Z důvodu vyrábět automobilové součásti s delší životností a zárukou. Tato technologie neelektrolytického nanášení zinkových mikrolamel má mnohem větší ochranu proti korozi s porovnáním jinými úpravami při malých tloušťkách povlaku, a také se vyznačuje zvýšeným tribologickým efektem. Dnes jsou požadovány hodnoty 480 hodin, 720 hodin při zkoušce v neutrální solné mlze do vzniku červené koroze oproti v minulosti, kdy stačilo 96 hodin. Zde jsou uvedeny v tabulce pouze informativní údaje korozní odolnosti povlaků. Výsledná odolnost proti korozi závisí na materiálu, složitosti, rozměrech součásti a způsobu povlakování a dalších jiných parametrech. [1]

Minimální doba zkoušky [h]	Minimální tloušťka povlaku [μm]	
	Povlak obsahující chromany flZnyc	Povlak neobsahující chromany flZnnc
240	4	6
480	5	8
720	8	10
960	9	12
Plošnou hmotnost povlaku lze přepočítat na tloušťku takto: – u povlaků obsahující chromany $4,5 \text{ g/m}^2 = 1 \text{ μm}$ tloušťky; – u povlaků neobsahující chromany $3,8 \text{ g/m}^2 = 1 \text{ μm}$ tloušťky.		

Tab. č. 1: Doba zkoušky neutrální solnou mlhou podle EN ISO 9227 pro neelektrolyticky nanášené mikrolamelové povlaky zinku. [6]

Velký význam se přisuzuje bariérovým vlastnostem zinku díky své destičkové struktuře. Zinek vlivem vystavení v korozním prostředí vytváří oxidy zinku na povrchu, které zvýší svůj objem až

trojnásobně, a přitom utěsňují póry v pojivu i mezi mikrolamelami zinku a zabraňují bariérově a bezporézním povlakem průniku korozního prostředí k pokladovému kovu. U povlaků s anorganickým pojivem mikrolamely obstarávají katodickou ochranu, kdy jednotlivé mikrolamely v pojivu se dotýkají a vytvářejí povlak, který je vodivě spojen se základním kovem. Zinek má dostatečně velký záporný potenciál, takže při porušení povlaku chrání zinek ocel sebeobětováním. Tato ochrana není u povlaků s organickými pojivy, kdy se jednotlivé mikrolamely dotýkají, ale nestačí to z důvodu 60 % objemových částic zinku a 40 % organického pojiva, a proto nemůže vytvořit elektrochemickou ochranu proti korozi. U bariérové ochrany je tento podíl optimální pro povlaky s organickými pojivy, protože zvyšování objemového procenta zinku ochrana proti korozi neroste, ale na druhou stranu se zhoršují mechanické vlastnosti povlaku. [13]

Povlaky mají velkou využitelnost při použití hromadného povlakování z ekonomických hledisek zejména spojovacích součástí (šroubů, matic, podložek, závlaček, nýtů, čepů, pojistných kroužků, kolíků, per, klínů) a součástí podvozku automobilu např. (pružiny, ramena, stabilizátory, nápravy, potrubí plnicího hrdla palivové nádrže, brzdové a palivové potrubí, brzdové třmeny a kotouče apod.). Dále se používají v motorové části automobilu a v jeho karoserii jako jsou např. zámky dveří, komponenty k bezpečnostním pásům, různé úchyty atd. Samozřejmě se používají kvůli zvýšené korozní odolnosti, odolnosti proti veškerým syntetickým kapalinám, které se nacházejí v motorové a podvozkové části automobilu, kdy navíc odolávají zvýšeným teplotám do bodu vytvrzení povlaku, který se pohybuje okolo 200 °C.



Obr. č. 1: Automobilové součásti povlakované neelektrolytickým nanášením Zn lamel. [16]

Možnost povlakování složitějších součástí s dutinami a dodržení předepsané tolerance u závitových dílů. Tloušťka povlaku, která se nanese na metrický závit, musí být v poloze tolerančního pole. Pro vnitřní závity je poloha tolerančního pole G, H a pro vnější závity je poloha tolerančního pole g, f, e. [5]. Tohoto můžeme dosáhnout i u malých průměrů závitů např. menší než M6. Z důvodu malých tloušťek povlaku a speciálních způsobů nanášení povlaku dosáhneme požadovaného tolerančního pole u závitové součásti. Velká výhoda, kterou si cenní automobilový průmysl u spojovacích součástí je možnost měnit tribologické vlastnosti. Vrchní povlakovací

materiály obsahují integrované mazivo z důvodu snadné a opětovné montáže a demontáže, aniž by se měnil výrazně součinitel tření u závitových dílů.



Obr. č. 2: Spojovací součásti povlakované neelektrolytickým nanášením Zn lamel. [16]

Tyto povlaky se dále využívají i v jiných odvětvích než je automobilový průmysl. Díky možnostem z velkého výběru ze spektra barev u vrchních povlaků se dále používají z dekorativního účelu v uměleckém kovářství, jako jsou výrobky z nábytkového kování např. kliky, výlisky. Mohou se použít kvůli vysoké korozní odolnosti i u vnější architektury. Možnost použití v instalačním odvětví, jako jsou hadicové spony, svorky, objímky a trubkové spojky (pevnostní spony na hadice, spojovací trubky, spojovací šroubení, pérové spony, bajonetové spojky, kulové kohouty, pevné a otočné příruby).



Obr. č. 3: Součásti povlakované neelektrolytickým nanášením Zn lamel. [16]

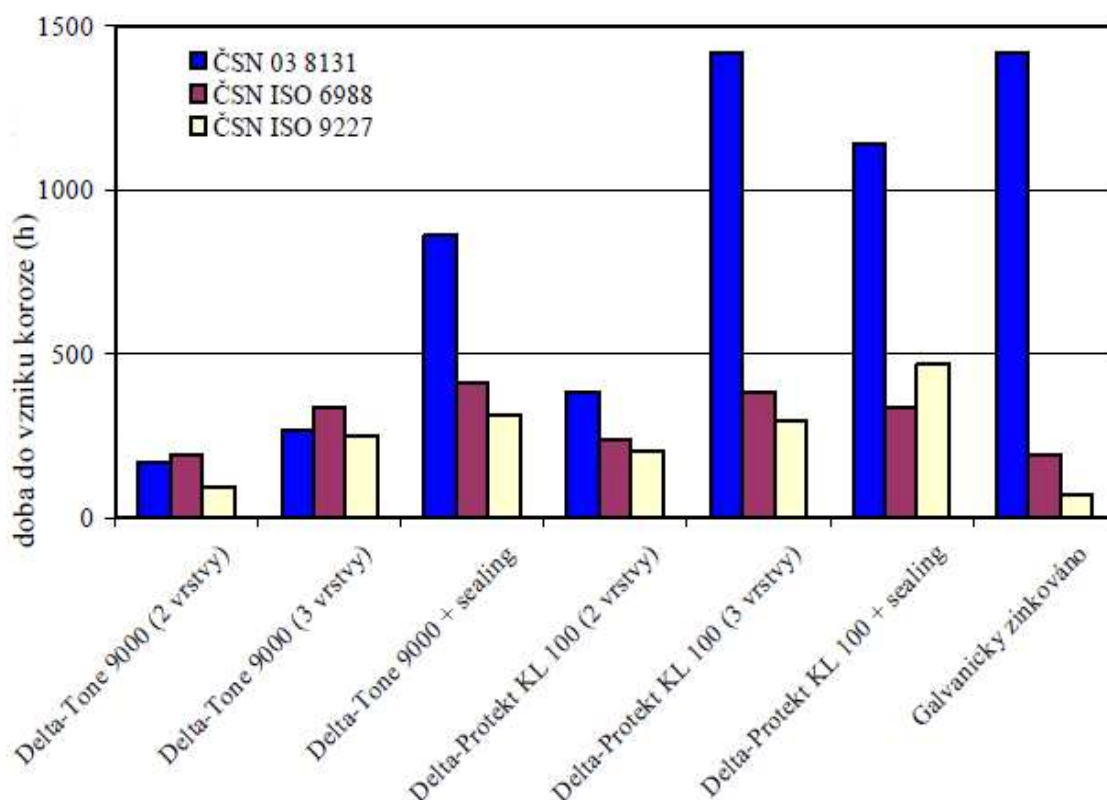
Možnost použití povlaků tam, kde nechceme tepelně ovlivnit materiál. Nízké teploty vytvrzení nezpůsobují ztrátu pevnosti popouštěním u pevnostních šroubů a pružin. Díky nízkým vytvrzovacím teplotám, které se pohybují okolo 200 °C, nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu a tím pádem ke změně mechanických vlastností i deformacím, které by měly za následek vytváření vad v povlaku. [1]. Neelektricky nanášené povlaky s mikrolamelami zinku se označují pod technologiemi povrchových úprav Dacromet, Geomet, Delta-MKS, Delta-Protekt a Zintek. V Evropě se nejčastěji používá v oblíbené technologii povrchové úpravy Delta-MKS pod zkratkou v němčině Mikroschicht-Korrosionsschutz-System. [2]. V České republice povlakuje technologií Delta-MKS společnost SVUM-CZ, s.r.o. v Kolíně, které udělila licenci firma Dörken MKS-Systeme.

Na obrázku č. 4 jsou uvedeny grafické hodnoty urychlených korozních zkoušek různých typů povlaků Delta-MKS s porovnáním galvanickým zinkováním. Zkoušky byly provedeny za účelem

zjištění chování různých typů povlaků Delta-MKS v odlišných korozních prostředích až do vzniku červených korozních bodů podkladového kovu. Urychlené korozní zkoušky byly provedeny v rámci diplomové práce na Ústavu strojírenské technologie FS ve spolupráci se SVÚOM s.r.o. a jedná se o tyto urychlené korozní zkoušky: [1]

- zkouška v kondenzační komoře podle ČSN 03 8131
- zkouška oxidem siřičitým s povšechnou kondenzací vlhkostí podle ČSN ISO 6988
- zkouška solnou mlhou podle ČSN ISO 9227. [1]

Při zkoušce v solné mlze a kondenzační komoře chrání povlak podkladový kov díky svým bariérovým vlastnostem. Na povrchu vznikají objemové korozní produkty zinku, které utěsňují póry v pojivu i mezi mikrolamelami zinku a zabraňují bariérově a bezporézním povlakem průniku korozního prostředí k podkladovému kovu. Naopak tomu je u urychlené korozní zkoušky oxidem siřičitým s povšechnou kondenzací vlhkosti. Na povrchu povlaku nevznikají objemové oxidy zinku a dochází k průniku korozního prostředí mezi póry povlaku k podkladovému kovu. [1]



Obr. č. 4: Grafické porovnání doby do vzniku koroze podkladového kovu při korozních zkouškách šroubů M10 – 45 (ČSN 021101.10) s povlaky typu Delta®. [1]

Z uvedených výsledků můžeme potvrdit, že povlakovací materiály Delta-MKS jsou vhodné především pro použití v automobilovém průmyslu na spojovací součásti, pružiny, příchytky, a další. Povlaky Delta-MKS vykazují ve většině korozních prostředí vyšší korozní odolnost v porovnání

s galvanicky a žárově vyloučenými povlaky zinku. Výsledky korozních zkoušek prokázaly rozdílné chování povlaků v jiných korozních prostředích, kde se ukázal odlišný mechanismus koroze zinkových mikrolamel. Obecně lze konstatovat, že byla potvrzena závislost korozní odolnosti povlaku na jeho tloušťce nebo na počtu a typu vrstev Delta-MKS. Jejich nespornou výhodou je především úplné odstranění nebezpečí vodíkové křehkosti a potlačení ztráty pevnosti popouštěním u pevnostních materiálů a pružin nízkou teplotou vytvrzení. [1]

2 Principy nanášení povlaku

2.1 Povlakovací materiály v technologii Delta-MKS

Povlakovací materiály se dělí na dvě skupiny podle složení pojiva:

- anorganické povlaky z mikrolamelami zinku, případně hliníku rozptýlené v pojivu s komplexními titanáty nebo zirkonáty na rozpouštědlové bázi nižších alkoholů. Povlaky se označují jako základní povlaky z anglického názvu basecoat, protože se povlakuje na upravenou součást jako první po zinkovém fosfátování nebo po tryskání. Povlaky po vytvrzení obsahují minimálně 80 % objemových částic zinku a 5 % hliníku. Povlakovaný materiál má tu výhodu, že je vzlinavý a proniká do těžko přístupných míst (např. dutin, bodové svary apod.). [3]
- organické a anorganické povlaky z mikrolamelami zinku rozptýlené v pojivu z komplexních silikátů na vodní bázi. Tyto povlaky se aplikují na základní povlaky, proto se označují vrchní povlaky z anglického výrazu topcoat. Povlaky po vytvrzení obsahují minimálně 60 % objemových částic zinku. Topcoaty mají záměrné vlastnosti, které basecoaty nemají, jako jsou např. větší výběr ze spektra barev, nízký součinitel tření, vyšší chemickou odolnost, elektroizolační vlastnosti. Basecoaty a topcoaty neobsahují žádné škodlivé těžké kovy. [3]

2.1.1 Základní povlakovací materiály (basecoat)

Delta-Tone 9000

Povlakový materiál z anorganického pojiva s komplexními titanáty nebo zirkonáty. Při nanášení povlaku Delta-Tone 9000 se nevyvíjí žádný vodík, a proto můžeme povlakovat oceli s pevností tahu větší nebo rovno 1000 MPa. Povlak zaručuje katodickou ochranu povrchu a vytváří bariérovou ochranu vlivem objemových oxidů zinku, které utěsní póry v pojivu a zabraňují bezporézním povlakem průniku korozního prostředí k pokladovému kovu. Povlak je odolný vůči organickým rozpouštědlům. Tloušťka vrstvy je 4 μm až 15 μm . K vytvrzení povlaku dochází při teplotě 200 $^{\circ}\text{C}$ po dobu 15 minut. [16]



DELTA®-TONE 9000

Obr. č. 5: Barva povlaku Delta-Tone 9000. [16]

Delta-Tone 9000 [μm]	Delta-Seal [μm]	DIN EN ISO 9227 solná mlha [h]
8	6	600
12	6	1000

Tab. č. 2: Orientační hodnoty korozní odolnosti povlaků dle údajů výrobce Dörken MKS-Systeme GmbH & Co. KG v závislosti na geometrii součásti a druhu povlakování. [16]

Delta-Protekt KL 100

Povlakový materiál z anorganického pojiva s komplexními titanáty nebo zirkonáty. Vyšší vývojová řada povlaků Delta-Tone 9000 v rozdílu jemnějších zinkových mikrolamel a zlepšení pojiva, a proto zvyšuje odolnost povlaku do vzniku červené a bílé rzi. Při povlakování se nevyvíjí žádný vodík, proto můžeme povlakovat ocel s pevností tahu větší nebo rovno 1000 MPa. Povlak zabezpečuje katodickou a bariérovou ochranu povrchu a je odolný vůči organickým rozpouštědlům. Hustota povlakovacího materiálu je $1,51 \text{ g/cm}^3 \pm 0,08 \text{ g/cm}^3$. Viskozita povlakovacího materiálu je $65 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ (3 mm pohárek při 20 °C). Tloušťka povlaku je 4 μm až 15 μm. K vytvrzení dochází při teplotě 200 °C až 250 °C po dobu 15 minut až 40 minut. [16]



Obr. č. 6: Barva povlaku Delta-Protekt KL 100. [16]

Delta-Protekt KL 100 [μm]	DIN EN ISO 9227 solná mlha [h]
8	600
10	1000

Tab. č. 3: Orientační hodnoty korozní odolnosti povlaků dle údajů výrobce Dörken MKS-Systeme GmbH & Co. KG v závislosti na geometrii součásti a druhu povlakování. [16]

2.1.2 Vrchní povlakovací materiály (topcoaty)

Delta-Seal a Delta-Seal GZ

Povlakovaný materiál z organického pojiva na bázi organickými epoxy-fenolickými síťovanými povlaky, které se používají u nanášení na ocelové součásti upravované povlakem Delta-Tone 9000 nebo Delta-Protekt KL 100. Typy povlaku s označením GZ jsou určeny pro povlakování závitových dílů a obsahují integrované mazivo PTFE pro snížení tření a zajištění stálého součinitele tření, součinitel tření je $\mu = 0,09-0,14$. Povlakovací materiál zvyšuje výsledky zkoušek v solné mlze a při Kesternichově testu dle ISO 6988 a zpomaluje vznik bílé rzi. Povlak chrání podkladový kov proti chemikáliím, jako jsou kyseliny, alkálie, oleje a benziny apod. Tloušťka vrstvy je 4 μm až 10 μm . Povlak má různé barevné odstíny. K vytvrzení dochází při teplotě 200 $^{\circ}\text{C}$ po dobu 15 minut. [16]



Obr. č. 7: Barvy povlaků Delta-Seal a Delta-Seal GZ a způsoby povlakování v různých barevných odstínech na spojovacích součástích. [16]

Deltacoll a Deltacoll GZ

Povlakový materiál z anorganického pojiva na silikát-titanové bázi, který je přizpůsobený pro nanášení na galvanické povlaky. Povlak chrání podkladový kov proti chemikáliím, jako jsou kyseliny, alkálie, oleje a benziny apod. Typy povlaku s označením GZ jsou určeny pro povlakování závitových dílů a obsahují integrované mazivo PTFE pro snížení tření. Součinitel tření je $\mu = 0,09-0,14$. Povlak má černý a bezbarvý odstín. Tloušťka povlaku 2 μm až 4 μm . Povlak se vytvrzuje při teplotě 125 $^{\circ}\text{C}$ až 200 $^{\circ}\text{C}$ po dobu 10 minut až 25 minut. [16]

Povlakový materiál z anorganického pojiva vodou ředitelný na bázi lithium- silikon-oxidového polymeru, který se nanáší na podkladovou vrstvu Delta-Protekt KL 100. Bariérovou ochranou zvyšuje odolnost povlaku do vzniku červené a bílé rzi i při zvýšených dlouhodobých teplotách okolo 200 °C, kdy dochází k dalšímu zesíťování povlaku, a proto jsou vhodné pro použití v prostoru motoru a automobilových brzd, kde je velké teplotní namáhání. K vytvrzování dochází při teplotě nad 80 °C a provádí se za účelem neovlivnit tepelně povlakovaný materiál. Aplikace povlaku na menší průměry závitů z důvodu menších tloušťek povlaků. Typy s označením GZ obsahují integrované mazivo PTFE pro snížení tření, součinitel tření je $\mu = 0,09-0,14$. Tloušťka povlaku 1 μm až 3 μm . Delta-Protekt VH 300 se vytvrzuje při teplotě 180 °C až 200 °C po dobu 10 minut až 20 minut a u Delta-Protekt VH 301 GZ dochází k vytvrzování při teplotě 150 °C až 190 °C po dobu 10 minut až 30 minut. [16]

Povlak	Tloušťka povlaku [μm]	ISO 9227 solná mlha [h]	DIN 50017 kondenzační komora [h]
Delta-Tone 9000	8	do 240	do 300
Delta-Tone 9000	12	do 500	do 600
Delta-Seal	8	do 120	do 120
Delta-Tone 9000 + Delta-Seal	8 + 6	do 500	do 600
Delta-Tone 9000 + Delta-Seal	10 + 8	do 1000	do 1000
Delta-Protekt KL 100	10	min. 600	-
Delta-Protekt KL 100 + Delta-Protekt VH 300	10 + 2	do 1000	-
Delta-Protekt KL 100 + Delta-Protekt VH 301 GZ	8 + 2	do 1000	-
Galvanický Zn	10	do 72	do 200
Galvanický ZnCr	10	do 96	do 240

Tab. č. 4: Orientační hodnoty korozní odolnosti povlaků typu Delta® dle údajů výrobce Dörken MKS-Systeme GmbH & Co. KG ve srovnání s galvanickými povlaky. [1]

2.2 Postupy vytváření povlaku

Neelektrolyticky nanášené povlaky s mikrolamelami zinku a hliníku na ocelových součástech se tvoří dvěma základními způsoby namáčením za studena nebo tlakovzdušným či elektrostatickým stříkáním povlakovacím materiálem. Při vytvrzování v peci dochází ke spojování mikrolamel zinku a hliníku s pojivem a chemické reakci pojiva se základním materiálem. Po vytvrzení se vytvoří povlak, který je spojen chemickými vazbami se základním materiálem a s adhezními silami. [1]

- ponořem do studené lázně s následným odstředěním nebo odkapáním, aby se docílilo stejnoměrného rozložení materiálu na součásti. Poté následuje vysušení a vytvrzení

povlaku v jedné i více vrstvách. Tímto způsobem lze povlakovat součásti složitějších tvarů (např. šrouby s vnitřním a vnějším tisícihranem nebo šroub s vnitřním šestihranem), protože zajišťují úplné pokrytí povrchu součásti. Nedoporučují se povlakovat součásti, které se používají při teplotách vyšších než je teplota vytvrzení povlaku. [6]



Obr. č. 8: U metody ponorem do studené lázně a s následným odstředěním se povlakované součásti ze zásobníku nasypou do koše, který je přepraven pomocí dopravníku do povlakovací lázně. [16]

- tlakovzdušným nebo elektrostatickým stříkáním pistolí, které se provádí ručně v uzavřené místnosti. Po té následuje vysušení a vytvrzení povlaku v jedné i více vrstvách. Používá se pro povlakování větších součástí. [6]



Obr. č. 9: Elektrostatické stříkání pistolí povlakovacího materiálu na velké součásti. [16]

2.3 Postupy vytváření povlaku u technologie Delta-MKS

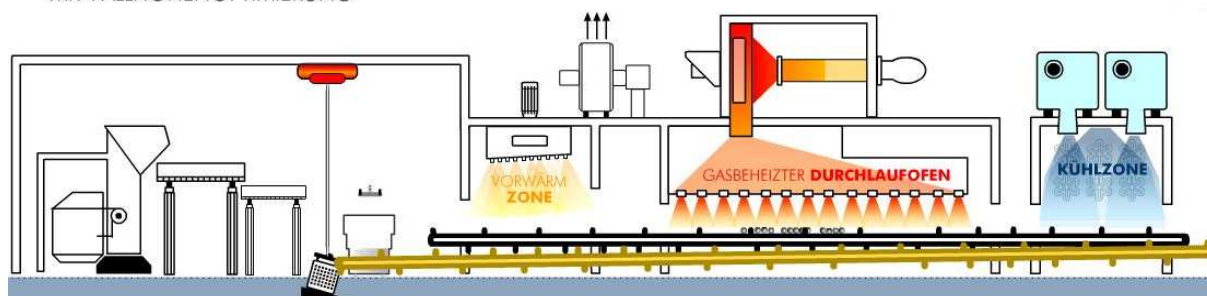
Povlaky se nanášejí osmi způsoby, které se vzájemně obměňují. Zvolený způsob povlakování je dán rozměry a složitostí součásti. Způsoby nanášení jsou:

- máčení s odstředěním a s optimalizovanou výškou pádu
- máčení s odstředěním
- ponoření s vytáhnutím
- EC-stroj 2000+
- omega stroj
- ponoření s odstředěním
- stříkáním
- robotické stříkání.

2.3.1 Máčení s odstředěním a s optimalizovanou výškou pádu

Povlakované součásti se ze zásobníku nasypou do koše, který je přepraven pomocí dopravníku do povlakovací lázně. Koš se součástmi se pohybuje směrem dolů a povlakovací lázeň směrem nahoru až je koš se součástmi celý ponořen. Povlakovací lázeň se pohybuje směrem nahoru a dolů. Poté lázeň zajede dolů a přebytečný ulpělý materiál se odstředí pomocí výkyvné odstředivky umožňující dvojí rotaci a navíc rotaci koše ve svislé poloze i při různých úhlech naklonění. Koš se součástmi se začne ve svislé ose otáčet při 150 min^{-1} až 500 min^{-1} po dobu 5 s až 50 s a na konec se nakloní koš od svislé osy do prava a na druhou stranu od svislé osy do leva při různém úhlu naklonění se otáčí v jednom směru. Tímto docílíme stejnoměrné rozložení povlaku po celé součásti. Po odstředění koš vysype součásti na pásový dopravník, který přepravuje součásti rovnoměrnou rychlostí všemi následujícími úseky. Nejprve se součásti předeřívají, poté následuje vytvrzení povlaku v peci. Po vytvrzení v peci dochází k ochlazení na teplotu pracovního prostředí. V žádném případě se nepoužívají při ochlazování kapaliny a musí se kontrolovat, aby kapičky vlhkosti nemohly kondenzovat na povrchu součásti. V posledním kroku jsou součásti dopraveny pásovým dopravníkem zpět do koše, do kterého, spadnou a povlakovací proces se stejně aplikuje podruhé. Používá se ve velkém množství u malých, složitějších tvarů (např. šrouby s vnitřním a vnějším tisícíhranem nebo šroub s vnitřním šestíhranem). [4]

TAUCH-SCHLEUDER-BESCHICHTUNGSANLAGE MIT FALLHÖHENOPTIMIERUNG

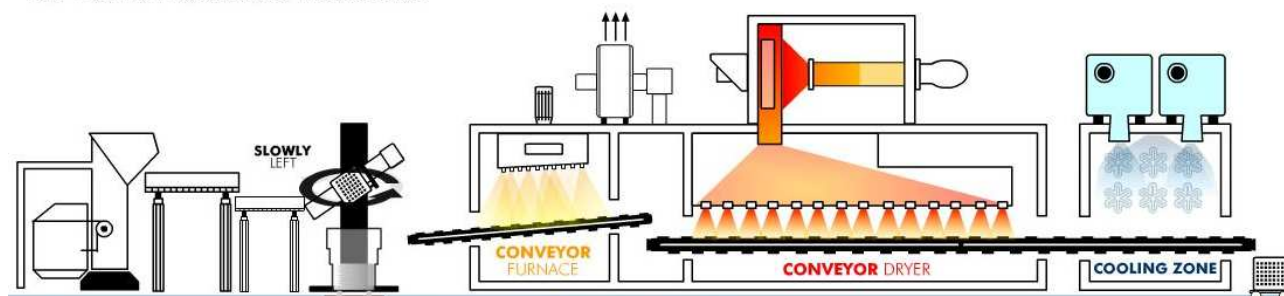


Obr. č. 10: Automatizovaná linka pro metodu nanášení povlaku máčení s odstředěním a s optimalizovanou výškou pádu. [16]

2.3.2 Máčení s odstředěním

Povlakované součásti se ze zásobníku nasypou do koše, který je přepraven pomocí dopravníku do povlakovací lázně. Koš se ponoří do povlakovací lázně a po vyzvednutí koše se přebytek lázně odstředí pomocí výkyvné odstředivky umožňující dvojí rotaci a navíc rotaci koše ve svislé poloze i při různých úhlech naklonění. Nejdříve se koš nakloní od svislé osy do prava o 45° a začíná odstředování při 150 min^{-1} až 500 min^{-1} , kdy se koš otáčí nejdříve do leva po dobu 5 s až 50 s, zabrzdí a roztočí se do prava. Tento proces se opakuje ještě jednou a na konec se provádí odstředění ve svislé poloze nejprve s otáčením do leva, zabrzděním a roztočením do prava. Po odstředění koš vysype součásti na pásový dopravník, který přepravuje součásti rovnoměrnou rychlostí všemi následujícími úseky. Nejprve se součásti předeřívají, poté následuje vytvrzení povlaku v peci. Po vytvrzení v peci dochází k ochlazení na teplotu pracovního prostředí. V žádném případě se nepoužívají při ochlazování kapaliny a musí se kontrolovat, aby kapičky vlhkosti nemohly kondenzovat na povrchu součásti. V posledním kroku jsou součásti dopraveny zpět košem do zásobníku, kde začíná stejný proces aplikace povlaku druhou vrstvou. Používá se ve velkém množství u složitějších tvarů (např. šrouby s vnitřním a vnějším tisícíhranem nebo šroub s vnitřním šestíhranem). Vhodné pro povlakování spojovacích součástí menších rozměrů. [4]

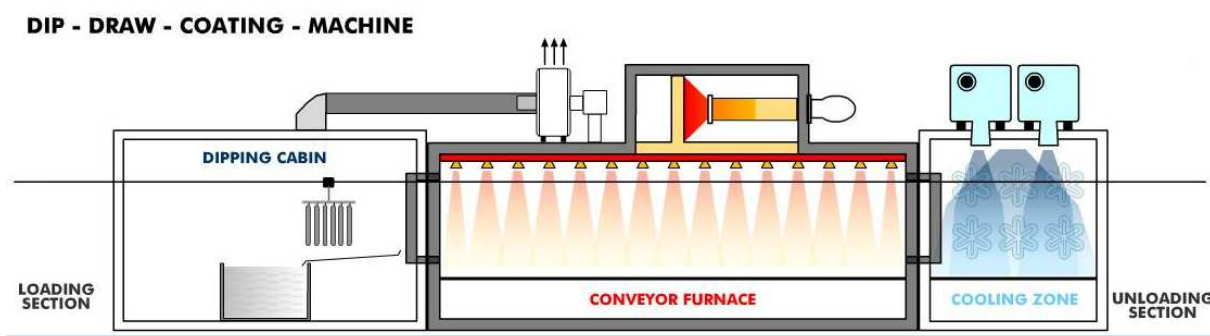
DIP - SPIN - COATING - MACHINE



Obr. č. 11: Automatizovaná linka pro metodu nanášení povlaku máčení s odstředěním. [16]

2.3.3 Ponoření s vytáhnutím

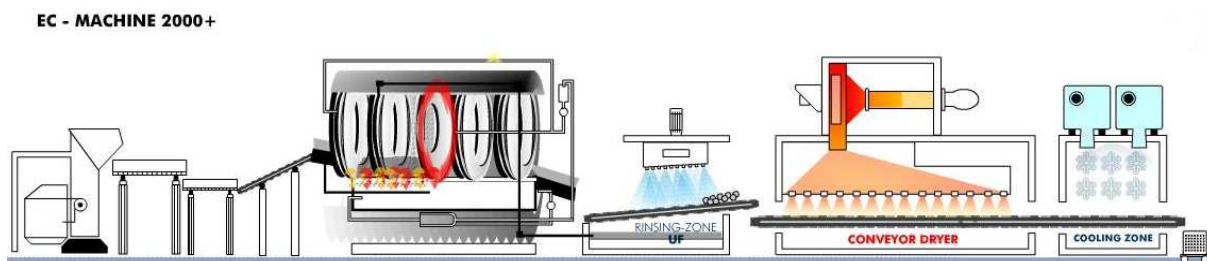
Povlakované součásti zavěšené na závěsu se ponoří do povlakovací lázně. Podle druhu složitosti a velikosti povlakovaných součástí se určuje viskozita povlakovací lázně a s tím se mění rychlost ponoření a vynoření součástí, aby se nanasel rovnoměrně povlakovací materiál. Po vytáhnutí se součásti nechají odkapat zpět do lázně a následuje vytvrzení povlaku v peci. Po vytvrzení v peci dochází k ochlazení na teplotu pracovního prostředí. Nesmí se použít kapalina a ani nesmí docházet srážení kapiček na povrchu součástí. Kvůli nanesení druhé vrstvy povlaku se proces znovu stejně opakuje. Používá se pro větší díly a velmi vhodná pro duté díly např. trubky, nápravy. [4]



Obr. č. 12: Automatizovaná linka pro metodu nanášení povlaku ponoření s vytáhnutím. [16]

2.3.4 EC-stroj 2000+

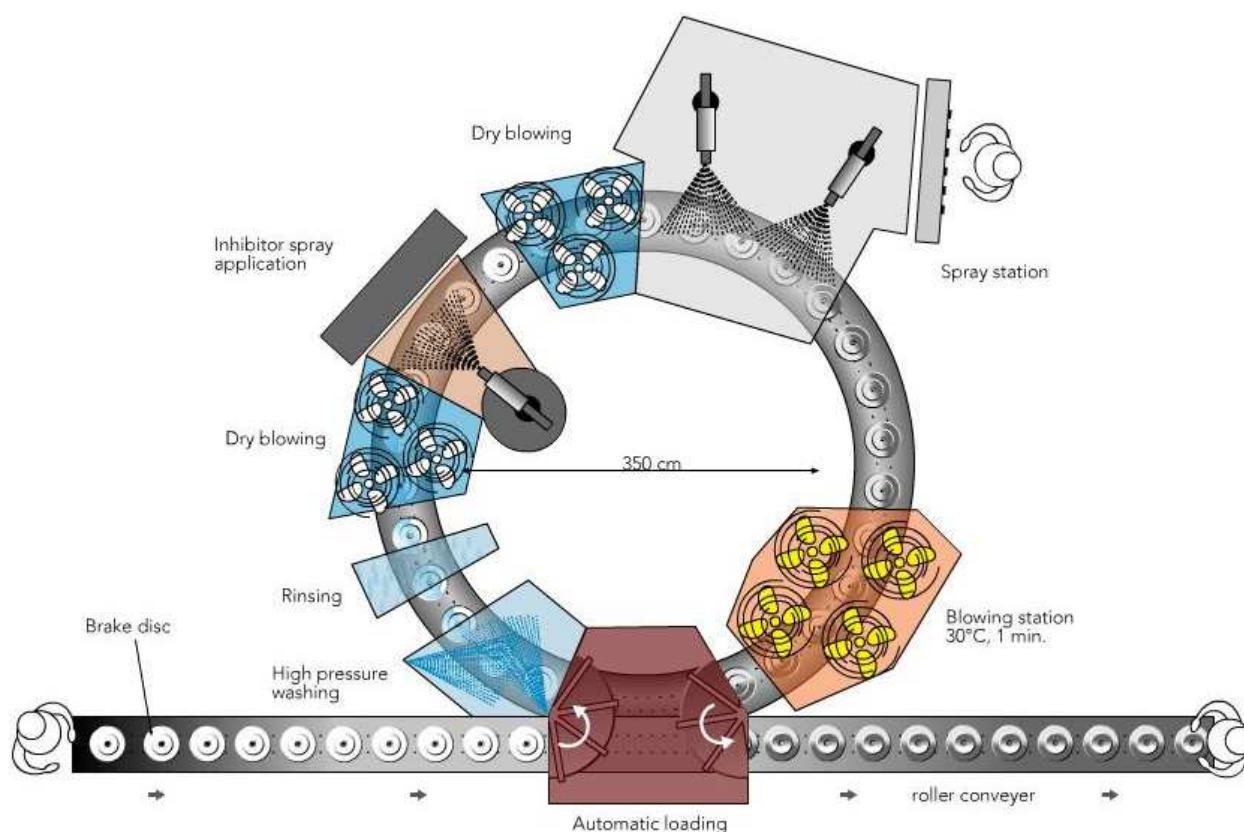
Povlakovací součásti jsou přesunuty dopravníkem do bubnu, kde dochází k povlakování součástí vlivem stejnosměrného proudu. Využití povlakovacího materiálu je vyšší než v ostatních procesech nanášení. Tato metoda je vhodná při hromadném povlakování. Díly jsou poté oplachovány a ohřívány, sušeny v peci za účelem vytvrzení povlaku. V poslední fázi se ochlazuje povlak na teplotu pracovního prostředí. Nesmí se použít kapalina a ani nesmí docházet srážení kapiček vlhkosti na povrchu součástí. Používá se pro menší spojovací součásti např. šrouby menší než M8. [16]



Obr. č. 13: Automatizovaná linka pro metodu nanášení povlaku s EC-strojem 2000+. [16]

2.3.5 Omega stroj

Obsluha vloží díl na válečkový dopravník, který přepravuje součásti rovnoměrnou rychlostí všemi následujícími úseky. V prvním sektoru dochází k vysokotlakovému mytí za účelem odstranění mastnot a zbytků nečistot z povrchu. Po skončení vysokotlakového mytí následuje oplach a foukání suchým vzduchem z důvodu ochlazení dílu na teplotu pracovního prostředí, odstranění kondenzace vlhkosti na povrchu, aby se nevytvořili vady po nanesení povlaku. Poté následuje postřik povlakovacím materiálem s opětovným ochlazením se suchým vzduchem. Poslední nástřik provádí obsluha a po nanesení povlaku se provádí poslední operace ochlazení a vysušení povlaku při teplotě 30 °C po dobu jedné minuty. Tato linka je určena pro povlakování brzdových kotoučů u automobilů. [4]

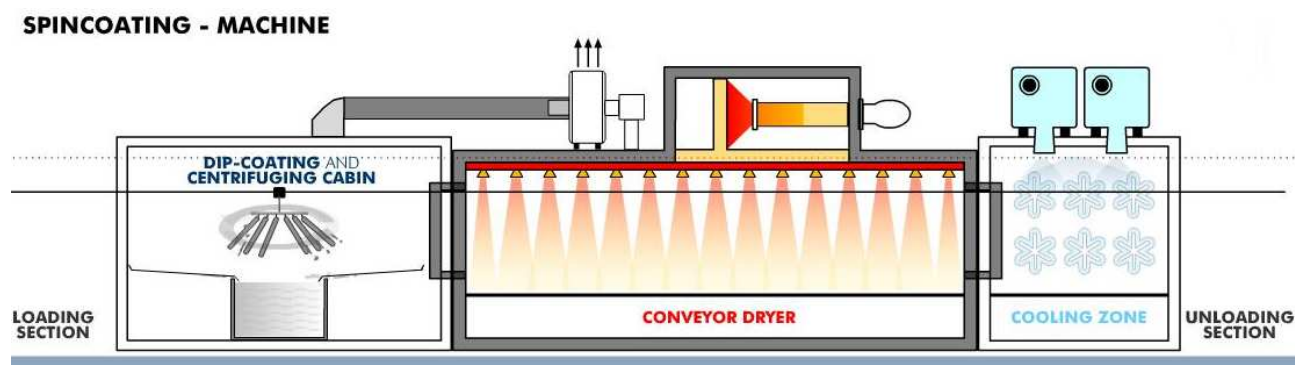


Obr. č. 14: Automatizovaná linka pro metodu nanášení povlaku s omegou strojem. [16]

2.3.6 Ponoření s odstředěním

Povlakované součásti jsou uchyceny na závěsu. Ponoří se a vynoří se z povlakovací lázně určitou rychlostí, která je definována podle složitosti a velikosti povlakovaných dílů. Po vynoření následuje odstředění přebytečného materiálu ve svislé poloze při určitých otáčkách. Přebytečný povlakový materiál stéká zpět do lázně. Po nanesení povlaku následuje sušení, ohřívání v peci,

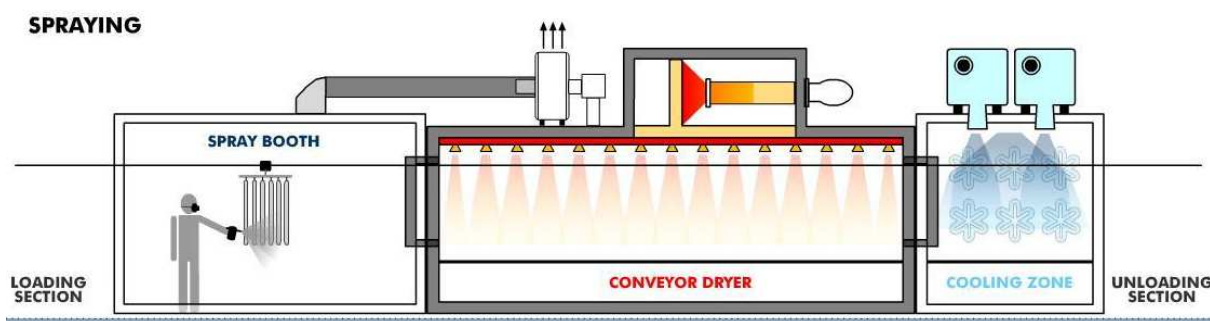
kde se povlak vytvrdí. Poté následuje ochlazení povlaku na pracovní teplotu prostředí. Nesmí se použít kapalina a ani nesmí docházet srážení kapiček na povrchu součásti. Kvůli nanesení druhé vrstvy povlaku se proces znovu stejně opakuje. Použití pro velké součásti a možnost povlakovat i geometricky velmi složité díly. [4]



Obr. č. 15: Automatizovaná linka pro metodu nanášení povlaku ponořením s odstředěním. [16]

2.3.7 Stříkáním

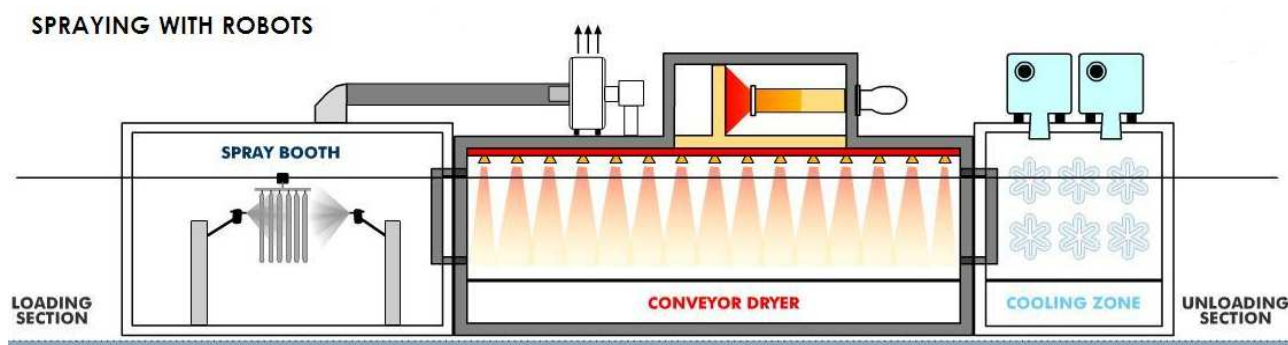
Povlakované součásti jsou zavěšeny na závěsu v uzavřené a odsávané místnosti, kde jsou stříkány ručně pneumatickou nebo elektrostatickou pistolí. Více se používá elektrostatické stříkání, které je založeno na principu přitažlivosti dvou částic s opačným elektrickým nábojem. Rozprášené kapičky povlaku mají záporný náboj, a proto jsou přitahovány k povlakované součásti s opačným nábojem. Při elektrostatickém nanesení povlaku jsou mikrolamely více zhuštěné na povrchu součásti a díky tomu stačí nanést pouze jednu vrstvu oproti jiným aplikacím povlaku. Po nanesení povlaku následuje sušení, ohřívání v peci, kde se povlak vytvrdí. Po výstupu z pece probíhá ochlazování. Používá se pro velké součásti např. pružiny, součásti podvozku automobilu.



Obr. č. 16: Linka pro metodu nanášení povlaku stříkáním. [16]

2.3.8 Robotické stříkání

Povlakované součásti jsou zavěšeny na závěsu v uzavřené místnosti, kde jsou stříkány dvěma roboty. Roboti stříkají povlakovací materiál rovnoměrně po celých součástech s minimálními ztrátami postříkem způsobené odrazem. Roboti stříkají pneumatickými nebo elektrostatickými pistolemi. Robotické stříkání zvýší rychlost a přesnost nanesení povlaku oproti ručnímu stříkání a zároveň je vyřešen problém ochrany zdraví při práci pracovníků. Více se používá elektrostatické stříkání, které je založeno na principu přitažlivosti dvou částic s opačným elektrickým nábojem. Rozprášené kapičky povlaku mají záporný náboj, a proto jsou přitahovány k povlakované součásti s opačným nábojem. U robotického stříkání povlakovacího materiálu jsou mikrolamely více zhuštěné na povrchu součásti a díky tomu stačí nanést pouze jednu vrstvu oproti jiným aplikacím povlaku. Po nanesení povlaku následuje sušení, ohřívání v peci, kde se povlak vytvrdí. Po výstupu z pece probíhá ochlazování. Používá se pro velké součásti např. ramena nápravy, nápravy.



Obr. č. 17: Automatizovaná linka pro metodu robotického stříkání. [16]

3 Technologický postup nanášení mikrolamel zinku

3.1 Předběžné úpravy povrchu materiálu

Dokonalá úprava povrchu u neelektrolytického nanášení mikrolamel zinku je zaručujícím předpokladem celého technologického postupu vytvoření povlaku a jedním z nejdůležitějších aspektů ovlivňující životnost naneseného povlaku. [8]

Před vlastním nanášením povlaku na povrch materiálu je zapotřebí připravit povrch materiálu, aby se povlak mohl správně vytvořit, zakotvit a dosáhl požadovaných vlastností s co nejdelší plánovanou životností. Cíl každé předběžné úpravy povrchu materiálu je odstranění všech druhů nečistot. [10]

Při určování kvality povrchové úpravy má podstatný vliv jakost povrchu materiálu. Za potřebí je dosáhnout požadované přilnavosti, dobré korozní odolnosti, odolnosti proti mechanickému opotřebením, a proto je požadované odstranit všechny nedostatky z povrchu, které vznikly při minulých technologických operacích (slévání, tváření, svařování, obrábění) a vytvořit takovou kvalitu povrchu, která je pro naši technologii povrchové úpravy nejvýhodnější. [10]

Povrch kovů je znečištěn látkami vázanými k povrchu mechanicky (mastnoty, zbytky past, mazadel, prach) a látkami vázanými chemicky (oxidy, rez, okuje). Před nanášením povlaku je zapotřebí povrch kovu vyčistit od nečistot a vytvořit kovově čistý povrch. Mechanicky vázané nečistoty odstraňujeme odmašťováním, chemicky vázané nečistoty odstraňujeme mechanickou úpravou otryskáváním. [9]

K velkému hrozícímu nebezpečí pro upravovaný materiál v povrchových úpravách patří poškození vodíkem. Velká výhoda neelektrolytického nanášení mikrolamel zinku je, že během povlakování se nevytváří žádný vodík, který difunduje do upraveného materiálu při operacích moření a při všech katodických procesech v elektrolytech, a pokud nedojde ihned k jeho odstranění, způsobuje zkřehnutí upravovaného materiálu. [1]. Při čištění ocelových součástí s pevností tahu 1000 MPa a vyšší se používají mechanické metody čištění např. otryskáním. [6]. Pokud se používají metody čištění, které by mohli vést k absorpci vodíku, musí se provést tepelné zpracování nebo proces musí být řízen z hlediska vodíkové křehkosti pro spojovací součásti s tvrdostí nad 365 HV. Proto se používá zátěžová zkouška dle ISO 15330, kterou můžeme tento proces kontrolovat. Protože při nedodržení čištění a absorpce vodíku během čištění má neelektrolyticky nanesený povlak vysokou propustnost vodíku. [2]

Proto mají být k předběžné úpravě čištěním použity metody, které nevyvíjí vodík ve stavu zrodu, čímž je zamezeno v začátku přípravy povrchu předběžné úpravy, aby nevzniklo nebezpečí vodíkové křehkosti. [2]

Předběžné úpravy povrchu dělíme na dvě základní skupiny:

- chemické úpravy povrchu
- mechanické úpravy povrchu.

3.1.1 Chemické úpravy povrchu

Chemické úpravy povrchu zahrnují způsoby úpravy při, kterých reagují chemické prostředky s nečistotami na povrchu materiálu. [9]. Nečistoty, které se vyskytují na kovovém povrchu se dělí:

- ulpělé nečistoty
- chemicky vázané nečistoty.

Ulpělé nečistoty jsou k povrchu kovu vázány adhezními silami. Jsou to všechny zbytky mastných látek např. zbytky konzervačních látek, brusných a leštících past a chladících obráběcích. Protože sem patří mastné látky, odstraňují se především odmašťováním. [8]

Vlastní nečistoty jsou s povrchem spojeny chemickou vazbou. Jedná se o tzv. korozní zplodiny, které vznikají na povrchu kovu chemickou přeměnou kovu při reakci s prostředím. Jsou to jednak okuje, jež se skládají z oxidů kovu, které vznikají chemickou korozí při tepelném zpracování. Další korozní produkt je rez, která je složena z hydratovaných oxidů kovu a která se tvoří působením atmosférické vlhkosti za normální teploty. [8]

3.1.2 Odmašťování

Odmašťování je souhrnný název pro odstraňování všech druhů ulpělých nečistot z povrchu, které jsou k povrchu vázány buď fyzikální absorpcí (např. látky tukového charakteru) nebo adhezními silami (jemně rozptýlené anorganické nečistoty, prach, kovové třísky apod.). Úkolem odmašťovacích přípravků je uvolnění těchto nečistot z povrchu materiálu, jejich převedení do roztoku nebo emulze a zabránění jejich dalšímu vyloučení na povrch materiálu. [15]

Doporučené, které se v praxi hodně využívají, dělíme podle použitého prostředku při odmašťování:

- v alkalických roztocích
- ultrazvukem.

Odmašťování v alkalických roztocích

Je to nejvíce rozšířený způsob čištění odmašťováním kovového povrchu. V lázních dochází rozptýlení kapalných a tuhých nečistot. Alkalické odmašťovací roztoky reagují s mastnými látkami ulpělými na upravovaném povrchu dvěma způsoby. Prvním způsobem se rostlinné a živočišné tuky při odmašťování neutralizují a změní se v roztoku jako rozpustná mýdla. Druhým způsobem se mastné látky minerálního původu odstraňují přidáním přísad do odmašťovací lázně, kde rozptylují do roztoku (emulgují). [8]

Alkalické odmašťovací roztoky obsahují louh nebo sodu, fosforečnany, uhličitany, křemičitany, povrchově aktivní látky a emulgátory. Používáním povrchově aktivních látek tenzidů se docílí zlepšení kvality odmašťovacího procesu. Nejdůležitějším aspektem je urychlení procesu nebo snížení pracovní teploty čímž vznikají značné energetické úspory. Dobře jsou vyřešeny otázky okolo likvidace oplachových odpadních vod, i samostatných odmašťovacích lázní. Můžeme používat roztoky středně a slabě alkalické až neutrální nebo dokonce odmašťovat v kyselém prostředí. [15]. Často používané jsou středně alkalické prostředky s pH 9 až do pH 12. [4]

Při odmašťování povrchově aktivní látky (tenzidy) mají v lázni funkce:

- zlepšují smáčivost (vytěsnění mastnoty z povrchu) povrchu
- emulgují (rozptýlení v roztoku) kapalně nečistoty
- dispergují (rozptýlení v roztoku) tuhé nečistoty
- zabraňují usazování odmaštěných nečistot na očištěný povrch. [10]

Podle způsobu aplikace rozlišujeme odmašťování:

- ponorem
- postřikem.

Ponorný způsob odmašťování

Teplota roztoku při ponorném odmašťování ocelových součástí je vyšší než 80 °C, pro barevné a lehké kovy se lázně ohřejí na teplotu 60 °C až 80 °C, při koncentraci 3 % až 8 % roztoku. Pohyb lázně nebo odmašťovaných předmětů zkracuje potřebnou dobu čištění. [10]. Doba potřebná pro odmašťování je závislá znečištění povrchu materiálu a bývá okolo 5 minut až 10 minut. Z výsledků, které jsou dány z experimentálních pokusů, vyplývá, že doba odmašťování 10 minut je nevyhovující, a proto se doporučuje dvoustupňové odmašťování době trvání 20 minut, které bude zahrnovat mezioplachy teplou a studenou vodou. [15]

Vany pro odmašťování a oplachy se seřizují do linek. Součásti se ponořují do van jednotlivě nebo hromadně v koších. Odmašťovací vany jsou ocelové s topným registrem a s odsávacím rámem s přepadem pro odstranění nečistot z hladiny, aby se mohly tyto nečistoty pravidelně odstraňovat. Po odmaštění se musí odstranit z povrchu kovu zbytky alkálií nebo jiných nečistot oplachem horkou vodou ponorem. [9]

Postřikový způsob odmašťování

Teplota roztoku při postřikovém odmašťování je alespoň 60 °C. Koncentrace se používá 1 % až 3 %. [10]. Využívá se mechanického účinku dopadající kapaliny k snadnějšímu odstranění mastnot a jejich emulgaci a umožňuje se tím snížení operační doby, koncentrace odmašťovací lázně a pracovní teploty. [15]. Předměty pro odmašťování se zastrčí pomocí pohyblivého roštu do uzavíratelné kabiny, kde rošť s předmětem vykonává vratný pohyb, aby byl dokonale očištěn postřikem na všech místech. Následující oplach se bude provádět ve stejném zařízení postřikem. [9]

Odmašťování ultrazvukem

Používáním ultrazvuku v čistících procesech se čištění z velké části zkracuje a přitom se při odmaštění dosahuje zlepšení čistícího účinku. Ultrazvukové vlnění svým intenzivním mechanickým účinkem (kavitací) v daleko větší míře uvolňuje nečistoty i z nepřístupných míst povrchu oproti běžnému čištění a zajišťuje jejich rozptýlení v roztoku. [8]

Ultrazvuková energie se získá přeměnou jiných druhů energie na mechanické kmity. Jmenovitě elektrická energie se elektronkovými nebo polovodičovými generátory mění na elektrickou energii o vyšším kmitočtu. Tato energie se pomocí budičů magnetostrikčních pro pásmo s frekvencí 20 kHz až 40 kHz anebo piezoelektrických pro pásmo s frekvencí 25 kHz až 1 MHz dostává do lázně ve formě ultrazvukové energie. Šířením této ultrazvukové energie se rozkmitá kapalina a přitom se zahušťuje a zředňuje prostředí s obrovskými rozdíly tlaku. Tyto rozdíly tlaku vedou ke vzniku kavitace, projevujícím se intenzivními údery mikroskopických částic na povrchu předmětu, které jsou rozptýleny v roztoku příslušného odmašťovadla. [10]. Na povrchu součásti dochází kvůli rozpouštěcímu účinku kapaliny a kavitace k rozrušování nečistot, oxidických filmů a tím pádem nastává jejich odplavení z povrchu součásti. [15]

„Proces ultrazvukového čištění kromě vlastní lázně ovlivňuje intenzita a frekvence. Intenzita, která se pohybuje 1,5 W/cm² až 5 W/cm². Volba intenzity závisí na druhu nečistot, jejich přilnavosti k povrchu a na velikosti a členitosti povrchu součástek. Frekvence, která se pohybuje v rozmezí 20 kHz až 1 MHz. Správná volba pracovní frekvence je důležitá nejen z hlediska působení kavitace, ale i dle tvaru, velikosti a složitosti součástky a správné orientace předmětů

v ultrazvukovém poli a v neposlední řadě složení nečistot.“ [10]. Nutné je brát v úvahu délku vlny v kapalině, aby se celá upravovaná součást vyskytovala v účinnosti ultrazvukového pole.

3.1.3 Mechanické úpravy povrchu

Mechanické úpravy povrchu se mohou použít jako operace:

- konečné (za účelem zvýšení korozní odolnosti, získání povrchu odpovídající vzhledu, zlepšení mechanických vlastností materiálu)
- přípravné (za účelem očištění povrchu od korozních produktů, nečistot, starých povrchových úprav a vytvoření podmínek pro zakotvení nového povlaku). [10]

Předběžné mechanické úpravy jsou způsoby opracování, kterými předmětu nedodáváme přesný výkresem stanovený tvar a rozměry, ale vytváříme určitou požadovanou jakost a kvalitu povrchu. [8]. Pokud mechanická úprava je poslední prováděnou úpravou tzn. konečnou úpravou, tak se snažíme vytvořit povrch ideálně hladký co s nejmenšími nerovnostmi na povrchu. Takto vytvořený povrch mechanickou úpravou bude mít lepší korozivzdorné vlastnosti. [10]

Účelem mechanických úprav je:

- očistit povrch od nečistot
- zajistit podmínky pro vyhovující přilnavost následujících vrstev
- vytvořit podmínky pro zvýšení korozní odolnosti
- vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům
- zlepšit mechanické vlastnosti povrchu. [8]

3.1.4 Otryskávání

Otryskáváním se požaduje připravit povrch určité jakosti, kdy je technicky dokonale očištěn povrch materiálu od okují, rzi, i jiných nečistot. Také je vhodné dosažení určité mikrogeometrie a fyzikálních, mechanických vlastností povrchu. Tato aktivita povrchu vyvolaná silnou deformací povrchových vrstev při tryskání, která má významný vliv na adhezi povlaku k základnímu materiálu. [15]

Při otryskávání dopadá otryskávací prostředek na povrch čištěné součásti rychlostí 50 m/s až 80 m/s vlivem urychlení rotujícího metacího kola nebo proudícím vzduchem. [7]. Tryskací prostředek vlivem dopadu na povrchu součásti vytvoří určitou mikrogeometrie, která je určena technologií otryskávacího procesu. V povrchových vrstvách dochází k plastické deformaci. Podle

mikroskopického uspořádání nerovností je otryskaný povrch určen tvarem tryskacího prostředku. [15]

K otryskávání se používají dva druhy otryskávacích prostředků:

- ostrohranné prostředky
- ocelové kuličky.

„Tvrdá ostrá zrna způsobují čištění povrchu od náletové koroze, okují a odstraňují z něj i částice kovu tím, že se do povrchu zasekávají. Po otryskání je povrch drsný, pokrytý množstvím malých kráterků.“ [9]. Používá se spíše před další povrchovou úpravou.

„Pro vytvoření povrchu s lepšími korozivzdornými vlastnostmi jsou vhodnější ocelové kuličky, protože můžeme s nimi dosáhnout lepší drsnosti povrchu než s ostrohrannými tryskacími prostředky. S ostrohrannými prostředky se vytvoří nerovnoměrný povrch se záseky zrn tryskacího prostředku v povrchových vrstvách materiálu. Ocelové kuličky čistí a zpevňují povrch, ale mohou také zatlačit nečistoty do povrchu materiálu. Základním požadavkem při kuličkování je použití kulatých částic o stejné velikosti. Ostrohranné částice mohou způsobit poškození povrchové vrstvy. Proto jsou zařízení určená ke kuličkování vybavena separátory, které třídí a vyřazují ostrohranné částice vzniklé tříštěním tryskacího prostředku.“ [10]. „Používají se ocelové kuličky o tvrdosti 46 HRC – 53 HRC, jejich průměr bývá od 0,16 mm do 0,85 mm, ale pro dosažení minimální drsnosti při požadované intenzitě tryskání se používají kuličky o průměru 0,6 mm až 0,7 mm. Pro úpravu neželezných materiálů nejsou příliš vhodné. V těchto případech se dává přednost balotině (skleněné kuličky). Sklo je inertní materiál a po kuličkování není nutné dodatečné čištění povrchu materiálu. Při použití ocelových kuliček u otryskávání neželezných kovů vzniká nebezpečí, že na povrchu součásti zůstanou mikročástice ocelového materiálu, které mohou nepříznivě ovlivnit životnost.“ [15]. Otryskáváním můžeme odstranit tahové pnutí na povrchu např. u svarů a tím zvýšit odolnost u nerezavějících ocelí proti koroznímu praskání při cyklickém namáhání.

„Z hlediska vytváření povlaků na otryskaném povrchu je třeba vedle hodnot drsnosti uvažovat ještě další veličiny. Především o skutečnou velikost povrchového objemu, který se musí vyplnit povlakovým materiálem, aby se zakryly nejvyšší vrcholky nerovností. Na základě experimentálních výsledků vyplývá, že se zvětšujícím se rozměrem zrna otryskávacího prostředku povrchový objem stoupá a to více u povrchů otryskaných ostrohranným prostředkem než při použití kulatého otryskávacího prostředku stejného rozměru zrna.“ [15]. Po skončení otryskávání se musí v určené době začít s povlakováním, protože na otryskaném povrchu dochází snadno a rychle k oxidaci. Podstatná výhoda u otryskávání ocelových součástí je nejen zbavení nečistot povrchu, ale také zlepšuje přilnavost pro neelektrolyticky nanesené povlaky. [15]

3.2 Zinkové fosfátování

„Je to způsob chemické ochrany oceli a zinku, při které se tvoří na povrchu předmětu souvislá, dobře zakotvená krystalická vrstva nerozpustných fosforečnanů. Vrstvička vznikne, že se ponoří ocelový předmět do lázně, kde se spotřebuje určité množství kyseliny fosforečné obsažené v přípravku na reakci s kovovým železem.“ [11]

Vytvořený povlak je pórovitý, který pod anorganickými a organickými povlaky zvyšuje odolnost proti korozi a zvyšuje přilnavost těchto povlaků. Tloušťka fosfátované vrstvy se pohybuje okolo 1 μm až 40 μm . [12]. Fosfátovací lázně obsahují přípravky na bázi fosforečnanu zinečnatého.

„Kvalita fosfátované vrstvy je velmi závislá na kvalitě přípravy povrchu. Hrubě opracovaný povrch způsobuje tvorbu hrubé krystalické vrstvy. Stupeň odmaštění ovlivní kvalitu fosfátování. Na dokonale odmaštěném povrchu se vytváří celistvé a jemnozrnné fosfátové vrstvy. Podobně vznikají jemnější krystaly fosforečnanů na mechanicky upraveném povrchu. Vytvoření kvalitního fosfátového povlaku je zapotřebí dokonalé odmaštění, odstranění rzi, okují a jiných nečistot z upraveného povrchu.“ [11]. Pro zlepšení jemnější struktury fosfátové vrstvy je důležité udělat před fosfátováním aktivační oplach. Aktivační oplach způsobí, že se na upravovaném povrchu vytváří velké množství zárodečných krystalizačních center, které vytváří dobré podmínky pro vznik velmi jemné stejnoměrné fosfátové vrstvy. [15]

„Fosfátování se může urychlit přidáním urychlovačů (dusičnany, dusitany, chlorečnany), které sníží pracovní teplotu lázně na 30 $^{\circ}\text{C}$ až 70 $^{\circ}\text{C}$ a zkrácení expoziční doby při aplikaci ponorem na 5 minut až 10 minut. Při aplikaci postřikem na 1 minutu až 3 minuty. V lázních obsahující urychlovače se vyloučí tenké fosfátové vrstvy 2 g/m^2 až 8 g/m^2 s jemnější zrnitostí, které se doporučují pro uchycení organických a anorganických povlaků.“ [15]

Pokud dojde k překročení maximální doporučené tloušťky dochází:

- snížení katodické ochrany následujícího anorganického povlaku
- snížení přilnavosti povlaku
- odtrhávání povlaku při zvýšeném namáhání
- fosfátová vrstva nemusí být dostatečně vysušená a vzniká nebezpečí, že se vlhkost bude uvolňovat při aplikaci povlaku. [4]

Před zahájením nanášení povlaku je třeba se ujistit, aby se fosfátová vrstva důkladně vysušila, protože při vytvrzování povlaku v peci by mohlo docházet uvolňování vlhkosti. To by mělo za následek tvoření vad v povlaku.

3.3 Nanášení povlaku

Jednotlivé metody nanášení povlakovacího materiálu jsem popsal v podkapitole 2.3 Postupy vytváření povlaku u technologie Delta-MKS. Zvolený způsob nanášení povlakovacího materiálu je dán podle velikosti a geometrie povlakovaného dílu. Dále se volí způsob nanášení podle počtu povlakovaných součástí. Velmi důležitý pro výběr způsobu nanášení povlaku je druh povlakovacího materiálu, který budeme nanášet a počet vrstev povlaku. Nejčastěji se však provádí u malých součástí metoda nanášení povlaku máčením s odstředěním. Pro ukázkou jsem popsal postup nanášení povlaku Delta-Protekt KL 100 s pracovními podmínkami.

3.3.1 Postup nanášení povlaku Delta-Protekt KL 100

Odmaštění v alkalickém roztoku

Otryskání

Jemně krystalické zinkové fosfátování:

plošná hmotnost	1 g/m ² až 3 g/m ²
-----------------	--

Nanesení první vrstvy povlaku máčením s odstředěním:

teplota nanášené materiálu	15 °C až 28 °C
teplota okolí	15 °C až 35 °C
aplikační viskozita	40 s až 50 s (3 mm pohárek při 20 °C)
doba máčení	10 s až 30 s
doba odstředění	5 s až 25 s
otáčky koše	150 min ⁻¹ až 250 min ⁻¹
doba předehřevu	5 minut až 10 minut
doba vytvrzení	15 minut až 40 minut
teplota vytvrzení	200 °C až 250 °C
ochlazení na teplotu	15 °C až 35 °C. [17]

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4 Vyhodnocení fyzikálních a mech. vlastností nanesených povlaků

4.1 Zkušební vzorky pro experimentální část

Pro vyhodnocení fyzikálních a mechanických vlastností nanesených povlaků byly dodány zkušební vzorky ze společnosti SVUM-CZ, s.r.o. Tato společnost povlakuje technologií povrchové úpravy Delta-MKS, jako jediná v ČR na základě licence udělené firmou Dörken MKS-Systeme. Jedná se o typy povlaků VW TL 233 surface Ofi-t630 dle normy VW 137 50. Základní povlak je složen minimálně ze 75 % zinkových a hliníkových lamel bez šestimocného chromu s dodatečným vrchním organickým povlakem bez šestimocného chromu. Přičemž funkčnost konstrukčních dílů (např. barva, nízký součinitel tření, vyšší chemická odolnost, elektroizolační vlastnosti) plní vrchní organický povlak. Z důvodu elektroizolačních vlastností se povlak nepoužívá pro díly s elektricky vodivou funkcí. Povlak se přednostně používá v podvozkové části automobilu, kde kromě vysokého korozního zatížení působí i vysoké teplotní zatížení do teploty 120 °C. Tloušťka povlaku je 10 µm až 25 µm. Z této tloušťky povlaku musí být minimálně 6 µm tloušťka zinkových lamel. Vrchní povlak (topcoat) obsahuje 3 hm. % až 5 hm. % mazadla PTFE. U vrchního povlaku (topcoatu) s pojivem epoxid-fenolové pryskyřice obsahuje povlak minimálně 25 hm. % mazadla PTFE. Nanášení vrstev povlaku se provádí metodami stříkáním a máčením s odstředěním. [20]

V experimentální části bakalářské práce budou hodnoceny zkušební vzorky povlakované níže uvedenými povlaky:

- SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný
- 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný
- C642 (galvanický zinkový povlak, pasivace silnou vrstvou bez Cr^{+6}) + 2 x Deltacoll.



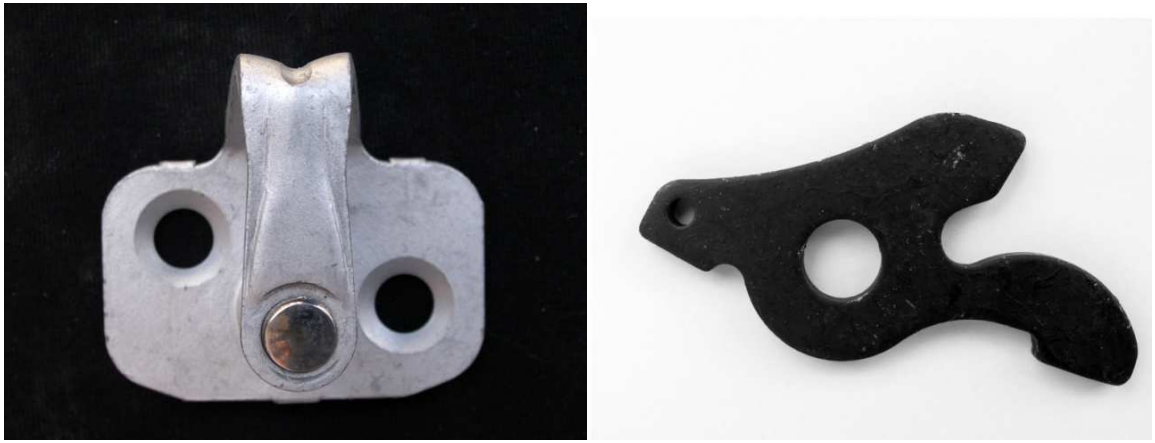
Obr. č. 18: Zkušební ocelová destička s rozměry 100 mm × 30 mm × 3 mm a s povlakem SVUM A 2 × Delta-Protekt KL 100 stříbrný pro měření adhezního opotřebení a korozní odolnosti.



Obr. č. 19: Zkušební ocelová destička s rozměry 100 mm × 30 mm × 3 mm a s povlakem 2 × Delta-Tone 9000 + 2 × Delta-Seal stříbrný pro měření adhezního opotřebení a korozní odolnosti.



Obr. č. 20: Zkušební ocelová destička s rozměry 100 mm × 30 mm × 3 mm a s povlakem C642 (galvanický zinkový povlak, pasivace silnou vrstvou bez Cr^{+6}) + 2 × Deltacoll pro měření adhezního opotřebení a korozní odolnosti.



Obr. č. 21: Zkušební výrobky pro měření tloušťky povlaků.

4.2 Zkouška adhezního opotřebení

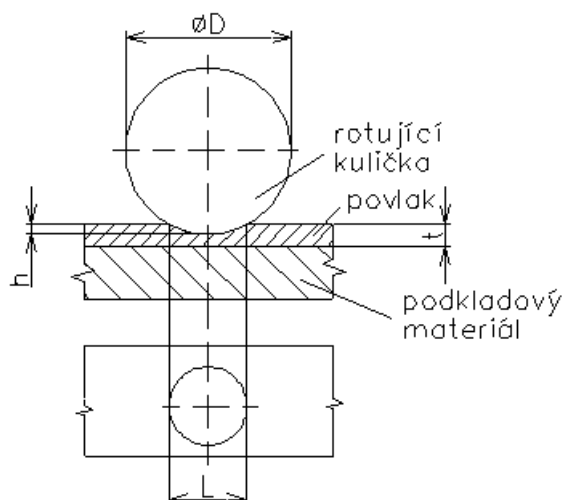
Odolnost proti adheznímu opotřebení se měří na přístroji zvaný kulotestr. Měření velikosti odolnosti proti adheznímu opotřebení spočívá v broušení povlaku zkušebním vzorku rotující ložiskovou kuličkou. Po skončení broušení se nám objeví na povrchu povlaku kulovitá část tzv. kulový vrchlík. Z této kulovité části se změří průměr metalografickým mikroskopem a podle daného vztahu se vypočítá tloušťka otěru povlaku.



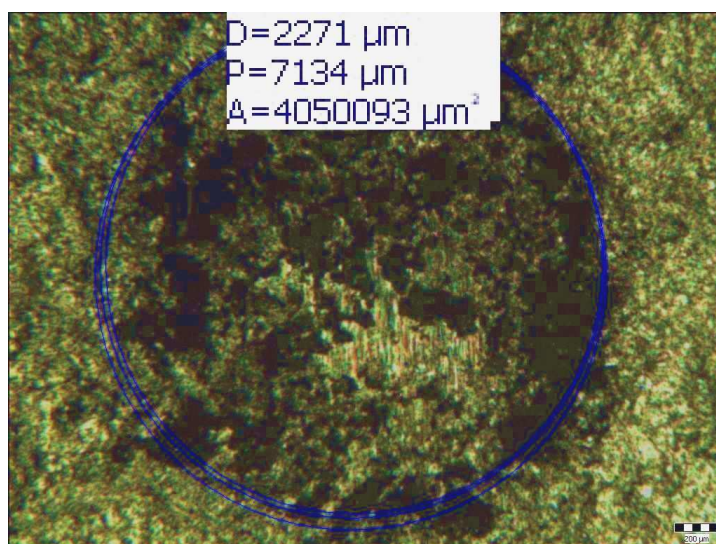
Obr. č. 22: Broušení povlaku na zařízení Kulotester pomocí rotující kuličky.

Zkušební vzorky byly postupně zatěžovány otáčející se kuličkou po povlaku. Počet oběhů kuličky jsem zvolil od 8000, 6000, 4000, 2000, 1000 a 500 o průměru kuličky 30 mm. Před každou změnou nastavení oběhů kuličky po povlaku se musí zkušební vzorek a kulička odmastit organickým rozpouštědlem a manipulace se provádí v ochranných rukavicích. Pro dosažení vyšší přesnosti měření se musí měřit vícekrát na stejném druhu povlaku, kde se volí stejný počet oběhů kuličky. Toto se provede na všech zkušebních vzorcích při všech zvolených otáčkách kuličky. Po té se tyto naměřené hodnoty při stejných otáčkách kuličky a na stejném povlaku zprůměrují.

Vztah pro výpočet průměrné hloubky kulového vrchlíku je dán: $h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{D^2 - L^2}$ (1)



Obr. č. 23: Měření středního průměru kulového vrchlíku. [18]



Obr. č. 24: Zjištěné parametry z metalografického mikroskopu NEOPHOT 21.

Pro vyhodnocení velikosti adhezního opotřebení a měření tloušťky povlaku jsem použil optický metalografický mikroskop NEOPHOT 21 s pomocí programu Quick Industrial v laboratořích Katedry mechanické technologie, VŠB-TUO, FS.



Obr. č. 25: Metalografický mikroskop NEOPHOT 21.

4.3 Zkouška korozní odolnosti dle ČSN EN ISO 9227 v neutrální solné mlze

Zkoušku jsem prováděl ve spolupráci s FMMI VŠB-TUO. V korozní komoře se zavěšenými zkušebními vzorky jsou přítomny složky urychlující korozi zkušebních vzorků, jako je např. teplota a agresivní látky podporující vznik koroze. Zkušební vzorky jsou v korozní komoře vystaveny při teplotě $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ v deionizované vodě v roztoku chloridu sodného. Koncentrace chloridu sodného je $50\text{ g/l} \pm 5\text{ g/l}$ a kyselost roztoku je v rozmezí pH 6,5 až pH 7,2. Samotný postup zkoušky a příprava vzorků, komory je uvedeno v normě ČSN EN ISO 9227. [19]

Zkušební vzorky jsou hodnoceny a doplněny fotografickou dokumentací po době 24 h a 360 h v korozní komoře. K hodnocení zkoušky se používá vizuální hodnocení vzorků a vypočítaný hmotnostní nárůst, který je způsoben vlivem koroze. Zkušební vzorky jsou před zkouškou a po zkoušce několikrát zváženy s přesností na 0,1 mg a zprůměrovaný hmotnostní nárůst bude porovnáván. Pouze u změřeného vzorku s povlakem C642 + 2 x Deltacoll začíná vznikat v kulovém vrchlíku bílá koroze zinku. U ostatních zkušebních vzorků po dobu 24 h v korozní komoře nejsou znatelné známky korozního napadení. Na vzorcích po 360 h v korozní komoře jsou patrné známky bílé koroze zinku, a proto budou dále hodnoceny výsledky hmotnostních nárůstů a vykresleny do grafu.

V neutrální solné mlze jsou zkoušeny zkušební vzorky s následujícími povlaky:

- SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný



Obr. č. 26: Zkušební vzorek před korozní zkouškou s povlakem SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný po 8000, 6000, 4000, 2000, 1000, 500 otáčkách.

- 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný



Obr. č. 27: Zkušební vzorek před korozní zkouškou s povlakem 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný po 8000, 6000, 4000, 2000, 1000, 500 otáčkách.

- C642 + 2 x Deltacoll



Obr. č. 28: Zkušební vzorek před korozní zkouškou s povlakem C642 + 2 x Deltacoll po 8000, 6000, 4000, 2000, 1000, 500 otáčkách.

4.4 Měření tloušťky povlaku

Pro měření tloušťky povlaku se použije metoda kolmého řezu. Příprava vzorků se provádí za účelem dosáhnout dokonalých hladkých a rovných ploch povrchu pro další vyhodnocování na optickém metalografickém mikroskopu. Zkušební vzorky se zalijí vakuově za tepla a tlaku na lisu od firmy Struers. Po zalití následuje broušení vzorků, které proběhlo na vybavení od firmy Struers na zařízení jménem Tegrapol-35. A na konec se tyto vzorky vyleští na stejném zařízení Struers Tegrapol-35. Tloušťka povlaku se měří pomocí optického metalografického mikroskopu NEOPHOT 21 s programem Quick Industrial na příčném řezu povlakem. Pro vyhodnocení a doplnění struktury povlaku a zinkových lamel na zkušebních vzorcích byla pořízena fotografická dokumentace pomocí řádkovací mikroskopie (REM). Šetření tloušťky povlaku na součástech povrchově upravených bubnů, postoupených firmou BRANO a.s. Povrchovou neelektrolytickou úpravu součástí provedla firma SVUM-CZ, s.r.o. a úpravu elektrolytickou provedla firma GALVAN CZ s.r.o.



Obr. č. 29: Lis pro zalévání vzorků.



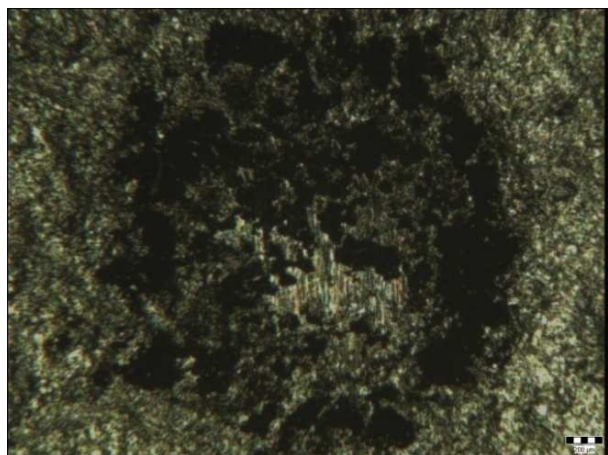
Obr. č. 30: Zařízení pro broušení a leštění vzorků.

5 Zhodnocení dosažených výsledků v experimentální části

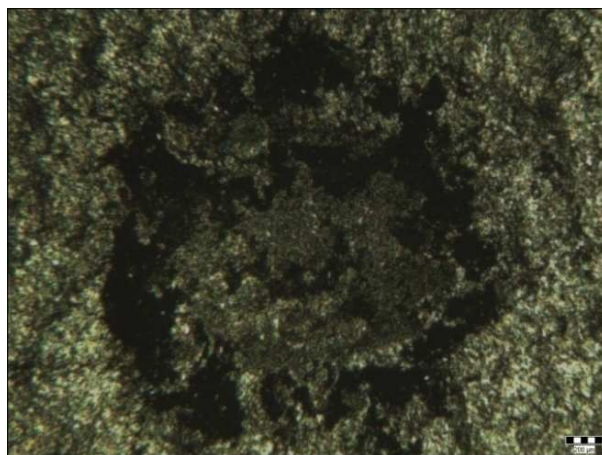
5.1 Adhezní opotřebení

Stopy zanechané na povlacích způsobené po určitém počtu oběhů kuličky o průměru 30 mm. Pomocí zařízení jsou zkoušeny zkušební vzorky s následujícími povlaky na opotřebení:

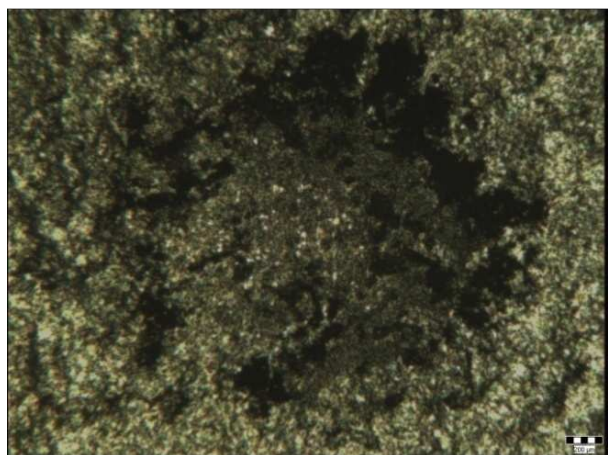
- SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný



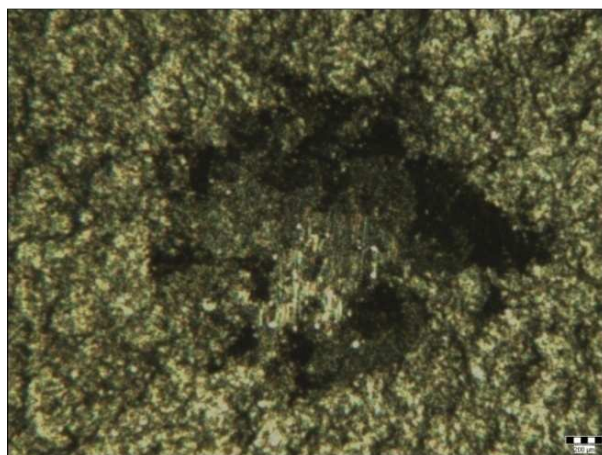
Obr. č. 31: 8000 otáček, (20 x).



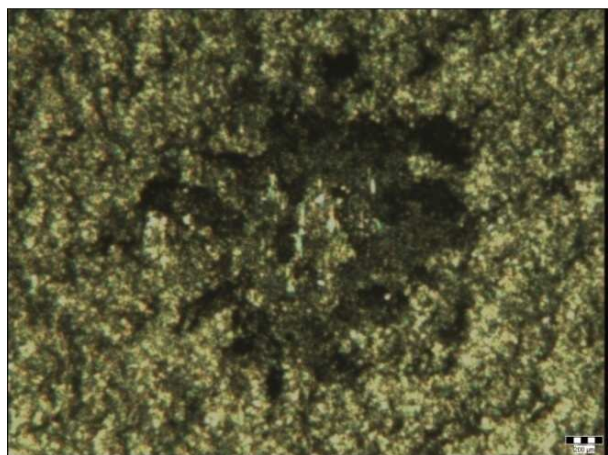
Obr. č. 32: 6000 otáček, (20 x).



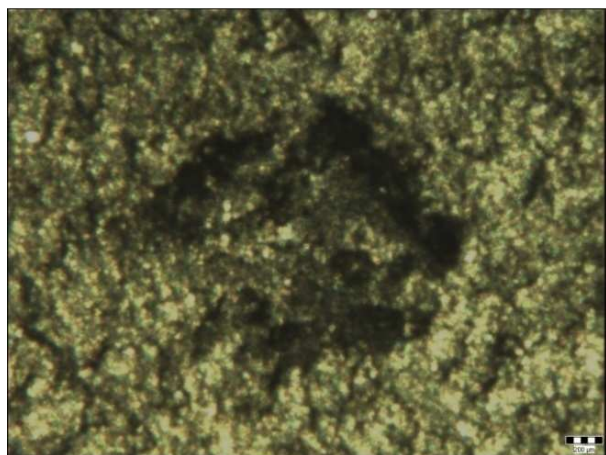
Obr. č. 33: 4000 otáček, (20 x).



Obr. č. 34: 2000 otáček, (20 x).



Obr. č. 35: 1000 otáček, (20 x).



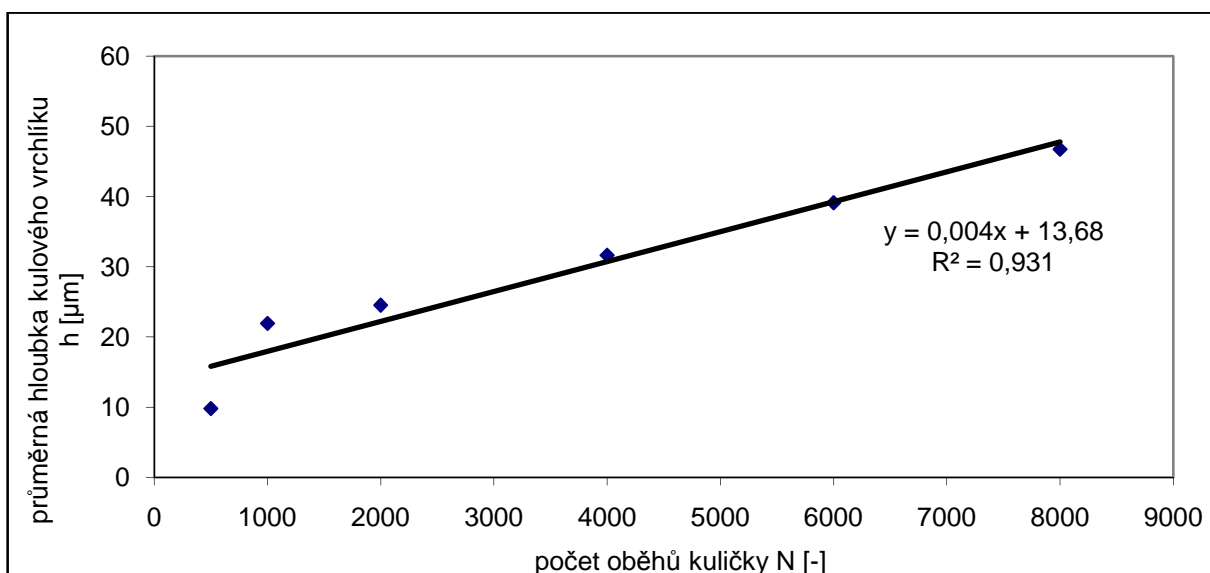
Obr. č. 36: 500 otáček, (20 x).

Typ	Druh	Číslo	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Kružnice	Průměr	1	2252	μm	Veličina	Průměr	
Kružnice	Průměr	2	2290	μm	Počet měření	3	
Kružnice	Průměr	3	2252	μm	Střední	2264,7	μm
					Sm. odchylka	17,9	μm
Typ	Druh	Číslo	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Kružnice	Plocha	1	3983790	μm ²	Veličina	Plocha	
Kružnice	Plocha	2	4116944	μm ²	Počet měření	3	
Kružnice	Plocha	3	3983790	μm ²	Střední	4028174,7	μm ²
					Sm. odchylka	62769,4	μm ²
Typ	Druh	Číslo	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Kružnice	Obvod	1	7075	μm	Veličina	Obvod	
Kružnice	Obvod	2	7193	μm	Počet měření	3	
Kružnice	Obvod	3	7075	μm	Střední	7114,3	μm
					Sm. odchylka	55,6	μm

Tab. č. 5: Zjištěné parametry z metalografického mikroskopu NEOPHOT 21 při jednom z mnoha měření při 8000 otáčkách u povlaku SVUM A 2 × Delta-Protekt KL 100 stříbrný.

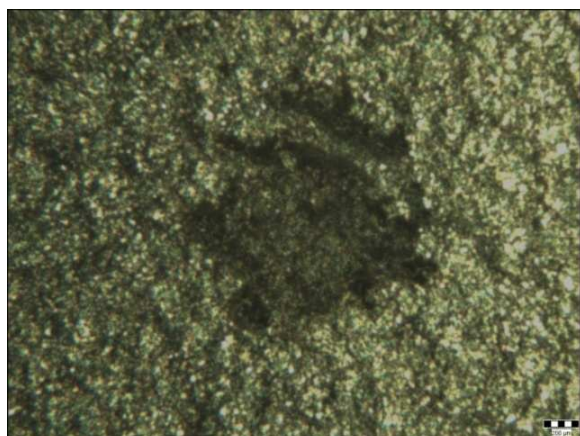
počet oběhů kuličky N [-]	střední průměr kulového vrchlíku L [μm]	průměrná hloubka kulového vrchlíku h [μm]
8000	2366	46,72
6000	2165	39,11
4000	1947,3	31,63
2000	1715	24,53
1000	1621,7	21,93
500	1084,3	9,80

Tab. č. 6: Teoretická průměrná hloubka opotřebení povlaku SVUM A 2 × Delta-Protekt KL100 stříbrný bez tribologických vlastností povlaku.

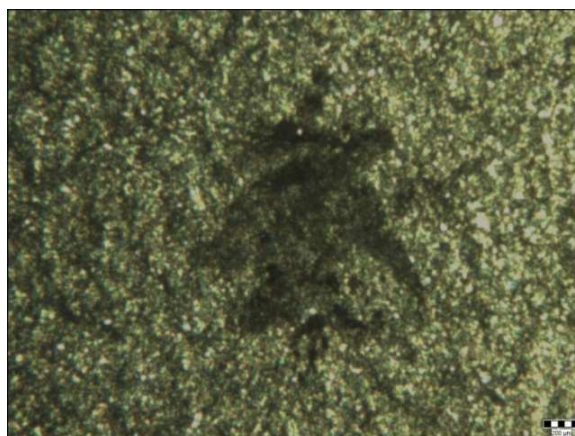


Obr. č. 37: Aproximace teoretických hodnot hloubky opotřebení povlaku bez tribologických vlastností.

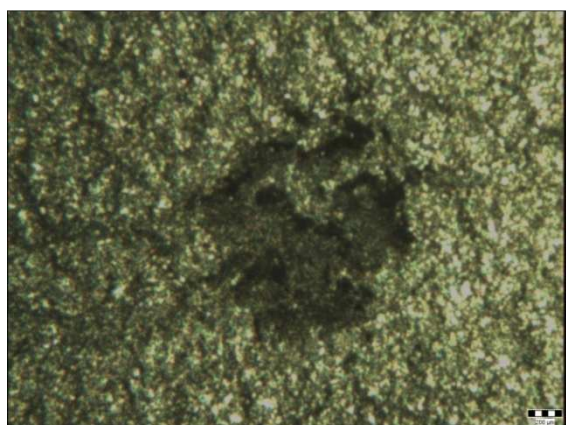
➤ 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný



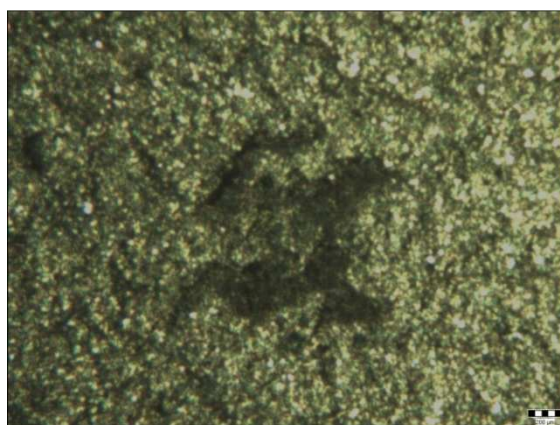
Obr. č. 38: 8000 otáček, (20 x).



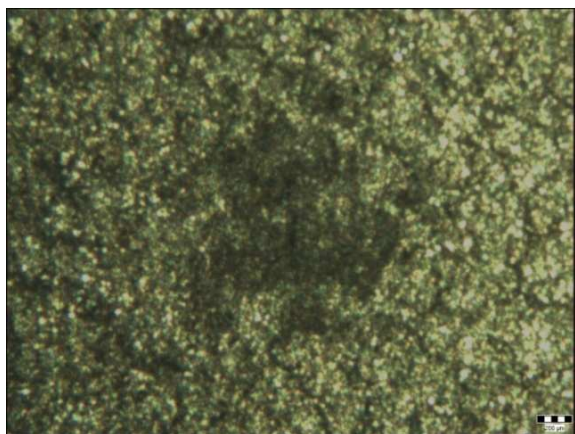
Obr. č. 39: 6000 otáček, (20 x).



Obr. č. 40: 4000 otáček, (20 x).



Obr. č. 41: 2000 otáček, (20 x).



Obr. č. 42: 1000 otáček, (20 x).

U 500 otáček nešlo zdokumentovat, zkušební kulička nezanechala otisk. Pro doplnění hodnocení u zkoušky adhezního opotřebení bylo provedeno u povlaku 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný další měření postupně se zvyšujícími otáčkami s kuličkou o průměru 25 mm. Měření bylo provedeno z toho důvodu, protože při předchozích měřeních bylo zanecháno po rotující kuličce nejmenší opotřebení ze zkoušených povlaků.



Obr. č. 43: 50 000 otáček, (10 x).



Obr. č. 44: 100 000 otáček, (10 x).



Obr. č. 45: 200 000 otáček, (10 x).

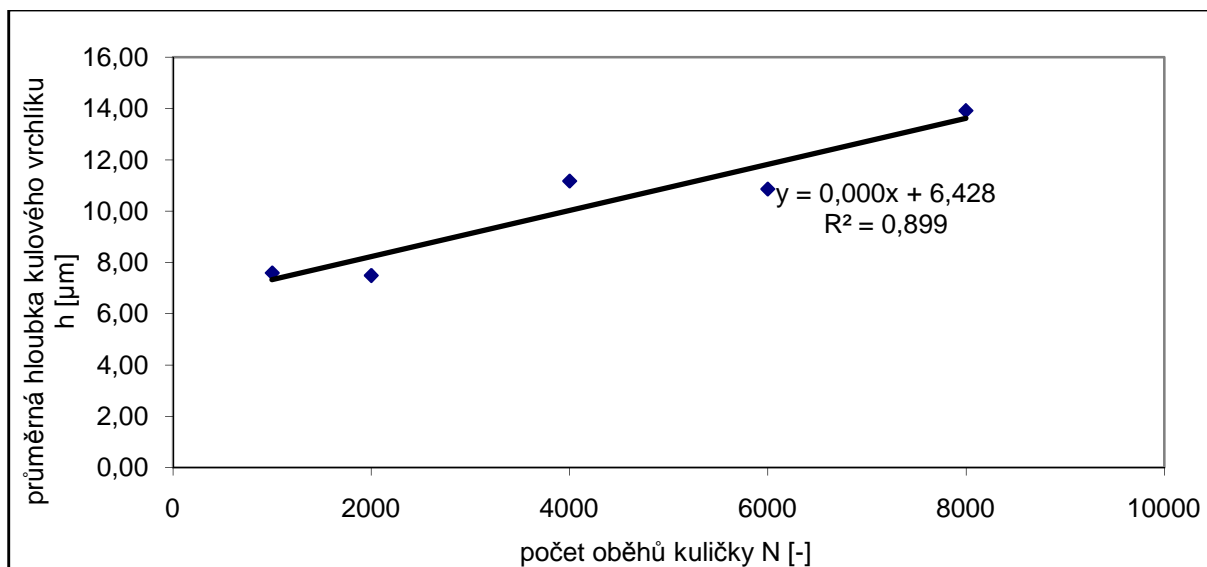


Obr. č. 46: 300 000 otáček, (10 x).

počet oběhů kuličky N [-]	střední průměr kulového vrchlíku L [μm]	průměrná hloubka kulového vrchlíku h [μm]
8000	1292	13,92
6000	1141	10,85
4000	1157,3	11,17
2000	947,3	7,48
1000	954	7,59

Tab. č. 7: Teoretická průměrná hloubka opotřebení povlaku

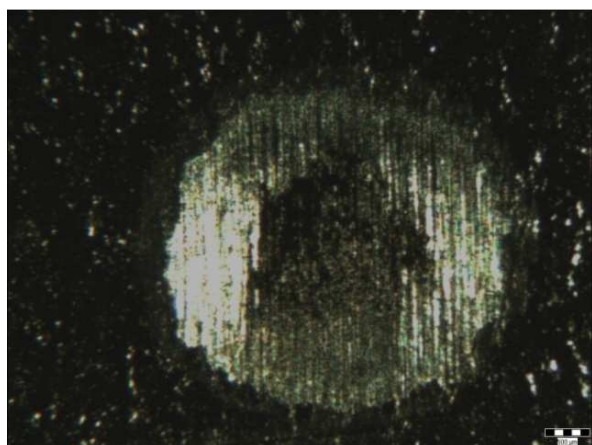
2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný bez tribologických vlastností povlaku.



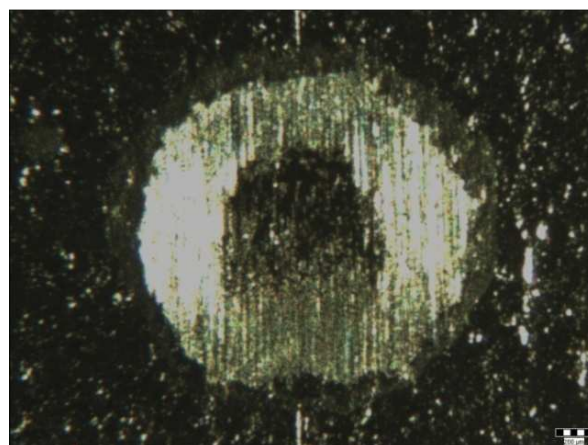
Obr. č. 47: Aproximace teoretických hodnot hloubky opotřebení povlaku

2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný bez tribologických vlastností povlaku.

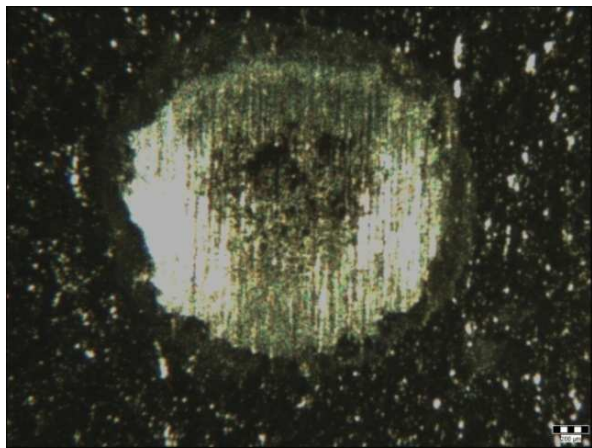
➤ C642 + 2 x Deltacoll



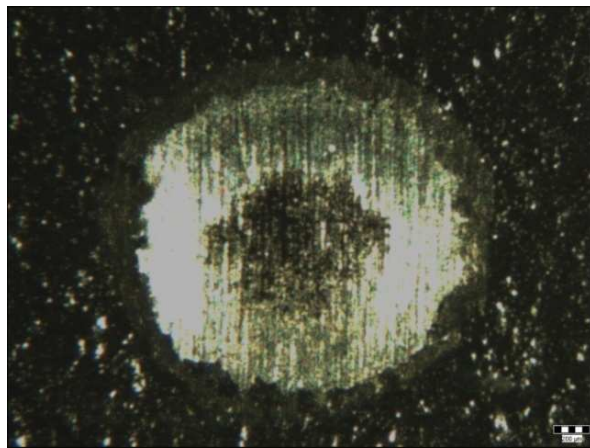
Obr. č. 48: 8000 otáček, (20 x).



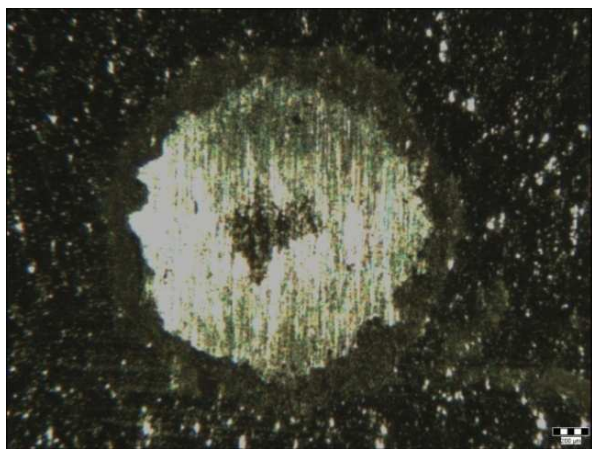
Obr. č. 49: 6000 otáček, (20 x).



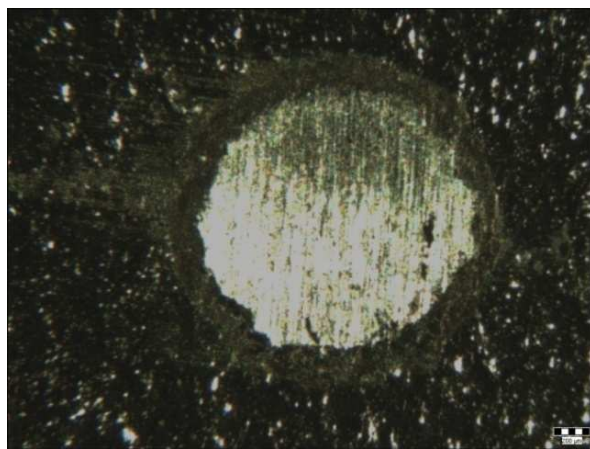
Obr. č. 50: 4000 otáček, (20 x).



Obr. č. 51: 2000 otáček, (20 x).



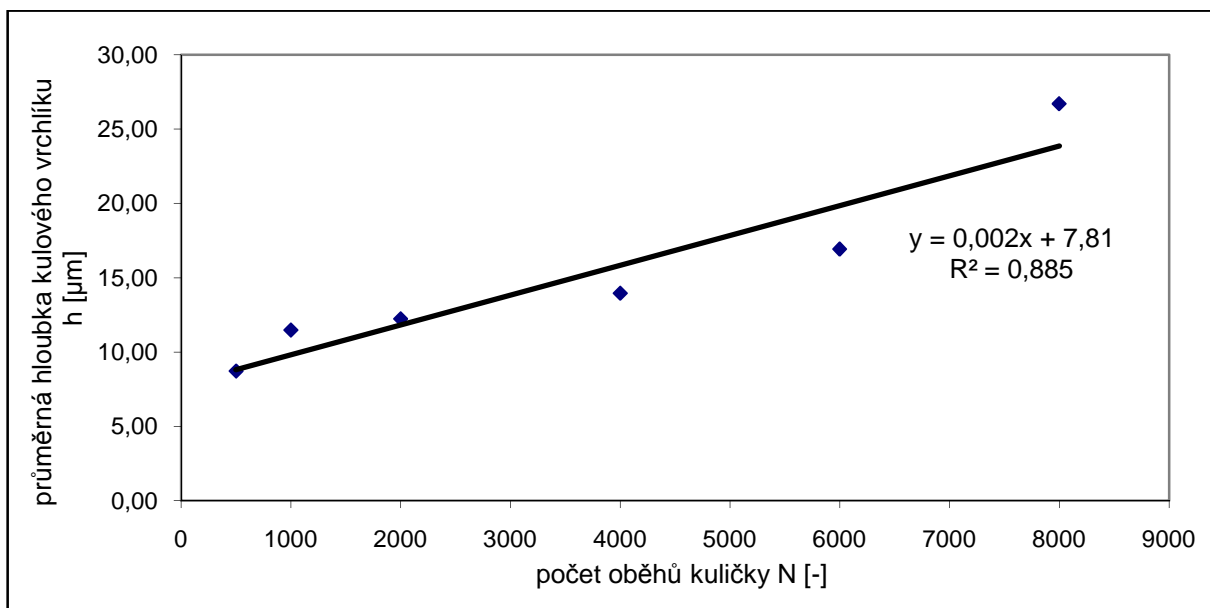
Obr. č. 52: 1000 otáček, (20 x).



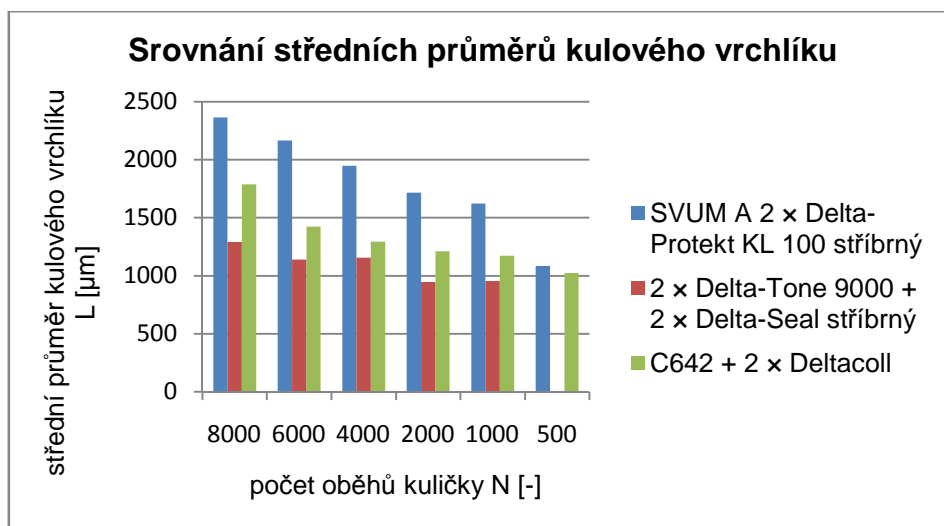
Obr. č. 53: 500 otáček, (20 x).

počet oběhů kuličky N [-]	střední průměr kulového vrchlíku L [μm]	průměrná hloubka kulového vrchlíku h [μm]
8000	1789,2	26,70
6000	1424,7	16,92
4000	1294	13,96
2000	1211,2	12,23
1000	1173,3	11,48
500	1023	8,72

Tab. č. 8: Skutečná průměrná hloubka opotřebení povlaku C642 + 2 x Deltacoll.



Obr. č. 54: Aproximace naměřených hodnot hloubky opotřebení povlaku C642 + 2× Deltacoll.



Obr. č. 55: Srovnání změřených středních průměrů kulového vrchlíku u jednotlivých povlaků.

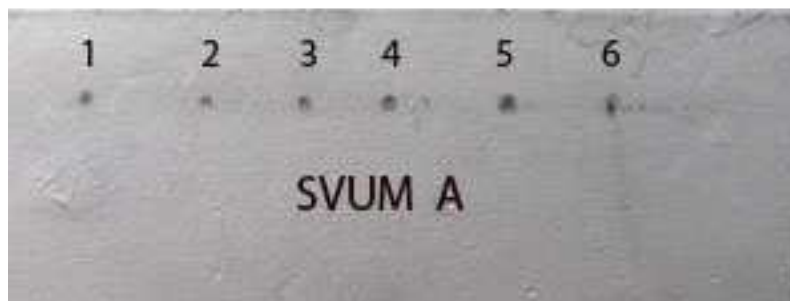
Největší střední průměry kulového vrchlíku jsem naměřil při všech otáčkách u povlaku SVUM A 2 x Delta-Protect KL100 stříbrný. Nejmenší střední průměry kulového vrchlíku jsem naměřil u povlaku 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný. Z hlediska adhezního opotřebení povlaku je důležitější pro vyhodnocení určit hloubku otěru tzv. průměrná hloubka kulového vrchlíku. Z naměřených středních průměrů kulového vrchlíku jsem vypočítal průměrnou hloubku otěru. Průměrná hloubka otěru byla největší u povlaku C642 + 2 x Deltacoll. U ostatních povlaků nelze určit, protože na povrchu povlaku se vytvářela grafitizace, a tak se vypočítala z odměřených středních průměrů kulového vrchlíku po grafitizaci teoretická hloubka otěru. U povlaku C642 + 2 x Deltacoll došlo k probroušení vrchní vrstvy povlaku 2 x Deltacoll zřejmě z důvodu, protože povlak neobsahuje integrované mazivo PTFE a tím pádem povlak nemá tribologické

vlastnosti, které by bránili prodření tohoto povlaku. Se zvětšujícím počtem otáček docházelo postupně k větší hloubce otěru základního povlaku C642. U povlaků SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný a 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný dochází k prvnímu prodření po 8000 otáčkách do hloubky 3 μm . Dále u snižujících se otáček od 6000 otáček po 500 otáček dochází pouze k grafitizaci tím, že povlak vylučuje integrované mazivo PTFE a rotující kulička se maže a zanechává zanedbatelné opotřebení na povrchu povlaku. Z této grafitizace se změří jejich průměry pomocí optického metalografického mikroskopu NEOPHOT 21 a vypočítá se podle vztahu teoretická průměrná hloubka opotřebení bez tribologických vlastností povlaků. Nejmenší změřené průměry z grafitizace byly u povlaku 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný z důvodu, že vrchní povlak 2 x Delta-Seal stříbrný obsahuje vyšší procento integrovaného maziva než základní povlak Delta-Protekt KL 100. Z tohoto důvodu byl zkušební vzorek s povlakem 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný vystaven další zkouše adhezního opotřebení, aby se zjistilo při větších otáčkách, jestli dojde k většímu prodření povlaku než 3 μm . Povlak se zatěžoval nejprve od 50 000 otáček, 100 000 otáček, 200 000 otáček, 300 000 otáček. Po změření opotřebení na zkušebním vzorku v metalografickém mikroskopu se došlo ke zjištění, že tyto vysoké otáčky neměly žádný vliv na větší prodření povlaku, než jsou 3 μm . Lze potvrdit, že tyto povlaky mají výborné tribologické vlastnosti, že při extrémních počtu 300 000 otáček nedochází k většímu prodření do hloubky než 3 μm . Při zkoušení povlaků, které mají takto výborné tribologické vlastnosti, by bylo vhodné použít diamantovou brusnou pastu, aby došlo k možnému většímu probroušení povlaku. To jsem neučinil z důvodu, protože by hrozilo poškození zařízení, na kterém se provádí zkouška.

5.2 Korozní odolnost dle ČSN EN ISO 9227 v neutrální solné mlze

Zkušební vzorky po korozní zkoušce v neutrální solné mlze. Vzorky jsou hodnoceny po 24 h a 360 h. Zkouška probíhá u zkušebních vzorků s následujícími nanesenými povlaky:

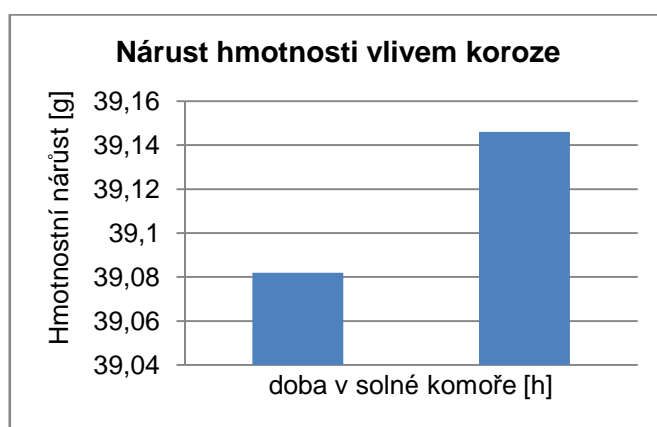
- SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný



Obr. č. 56: Zkušební vzorek s povlakem SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný po 24 h v neutrální solné mlze po 8000, 6000, 4000, 2000, 1000, 500 otáčkách.

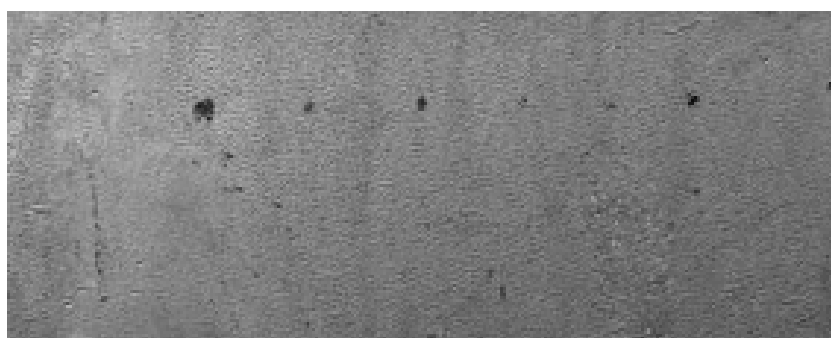


Obr. č. 57: Zkušební vzorek s povlakem SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný po 360 h v neutrální solné mlze po 8000, 6000, 4000, 2000, 1000, 500 otáčkách.



Obr. č. 58: Nárůst hmotnosti u povlaku SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný po 360 h v neutrální solné mlze.

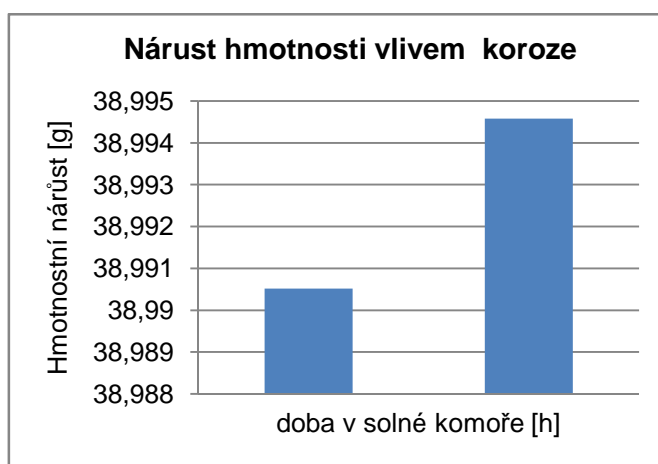
➤ 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný



Obr. č. 59: Zkušební vzorek s povlakem 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný po 24 h v neutrální solné mlze po 8000, 6000, 4000, 2000, 1000 otáčkách.

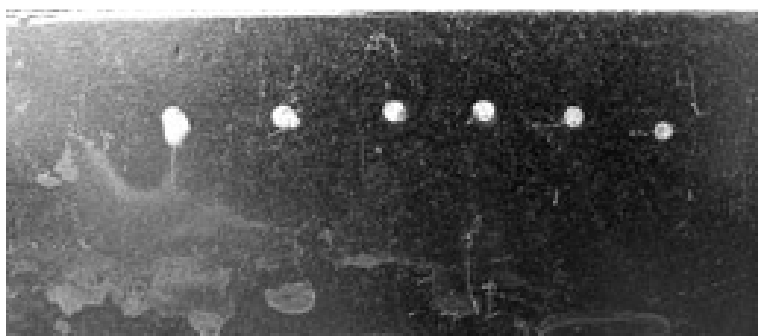


Obr. č. 60: Zkušební vzorek s povlakem 2 × Delta-Tone 9000 + 2 × Delta-Seal stříbrný po 360 h v neutrální solné mlze po 8000, 6000, 4000, 2000, 1000 otáčkách.



Obr. č. 61: Nárůst hmotnosti u povlaku 2 × Delta-Tone 9000 + 2 × Delta-Seal stříbrný po 360 h v neutrální solné mlze.

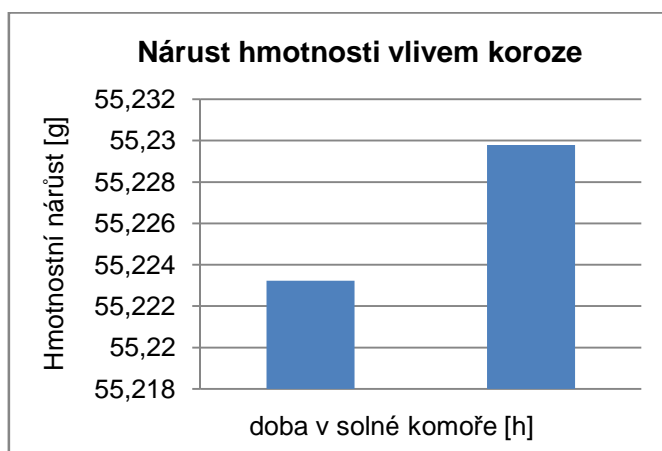
➤ C642 + 2 × Deltacoll



Obr. č. 62: Zkušební vzorek s povlakem C642 + 2 × Deltacoll po 24 h v neutrální solné mlze po 8000, 6000, 4000, 2000, 1000, 500 otáčkách.



Obr. č. 63: Zkušební vzorek s povlakem C642 + 2 x Deltacoll po 360 h v neutrální solné mlze po 8000, 6000, 4000, 2000, 1000, 500 otáčkách.



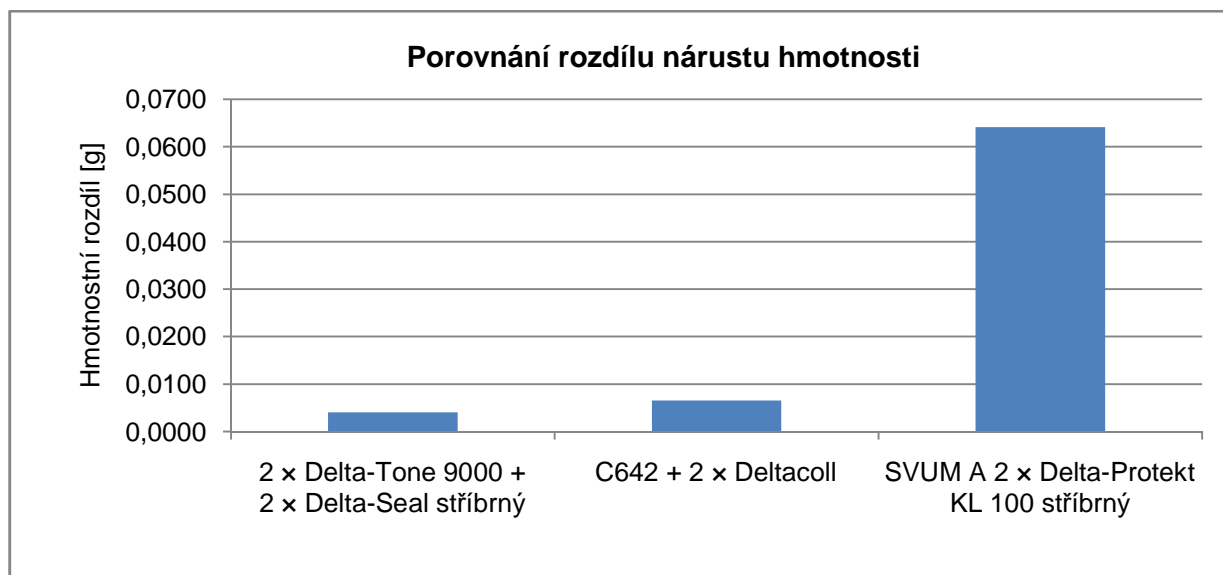
Obr. č. 64: Nárůst hmotnosti u povlaku C642 + 2 x Deltacoll po 360 h v neutrální solné mlze.

2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný		C642 + 2 x Deltacoll		SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný	
hmotnost zkušebního vzorku před zkouškou [g]	hmotnost zkušebního vzorku po zkouškou [g]	hmotnost zkušebního vzorku před zkouškou [g]	hmotnost zkušebního vzorku po zkouškou [g]	hmotnost zkušebního vzorku před zkouškou [g]	hmotnost zkušebního vzorku po zkouškou [g]
38,9902	38,9936	55,2288	55,2339	39,0807	39,1448
38,9900	38,9938	55,2185	55,2340	39,0809	39,1447
38,9901	38,9942	55,2285	55,2343	39,0808	39,1453
38,9906	38,9945	55,2276	55,2326	39,0809	39,1474
38,9896	38,9932	55,2225	55,2298	39,0852	39,1457
38,9899	38,9941	55,2242	55,2298	39,0810	39,1459
38,9907	38,9954	55,2227	55,2275	39,0841	39,1462
38,9912	38,9957	55,2211	55,2263	39,0813	39,1464
38,9898	38,9951	55,2163	55,2210	39,0823	39,1467
38,9931	38,9963	55,2221	55,2288	39,0816	39,1469

Tab. č. 9: Hmotnosti zkušebních vzorků jednotlivých povlaků zváženy před a po korozní zkoušce v neutrální solné mlze po 360 h.

2 × Delta-Tone 9000 + 2 × Delta-Seal stříbrný	C642 + 2 × Deltacoll	SVUM A 2 × Delta-Protekt KL 100 stříbrný
rozdíl nárůstu hmotnosti vlivem koroze [g]	rozdíl nárůstu hmotnosti vlivem koroze [g]	rozdíl nárůstu hmotnosti vlivem koroze [g]
0,0041	0,0066	0,0641

Tab. č. 10: Zprůměrovaný rozdíl nárůstu hmotnosti zkušebních vzorků s uvedenými povlaky před a po korozní zkoušce v neutrální solné mlze po 360 h vlivem koroze.



Obr. č. 65: Porovnání jednotlivých povlaků v závislosti na nárůstu hmotnosti zkušebních vzorků v neutrální solné mlze po 360 h.

Nejvyšší nárůst hmotnosti po 360 h v korozní komoře vlivem vytváření objemových korozních produktů zinku po povrchu vzorku je u povlaku SVUM A 2 × Delta-Protekt KL 100. Na celém vzorku po povrchu dochází k vytváření bílé koroze zinku, která zabraňuje bezporézním povlakem průniku korozního prostředí k podkladovému kovu. V místě opotřebení po rotující kuličce u povlaku C642 + 2 × Deltacoll došlo vytváření bílé koroze zinku po 24 h v korozní komoře, jako u jediného povlaku. Hmotnostní nárůst je způsoben vytváření bílé koroze zinku místě opotřebení povlaku a nedochází vytváření bílé koroze zinku na celém povrchu vzorku jako je to u dvou ostatních povlaků. Tato bílá koroze zinku zamezí přístup korozního prostředí k podkladovému kovu a přispěje k tomu, že se v místě opotřebení neobjevuje žádný náznak červené koroze. U povlaku 2 × Delta-Tone 9000 + 2 × Delta-Seal stříbrný došlo k nejmenšímu nárůstu hmotnosti. Na celém povrchu povlaku v malé míře vzniká bílá koroze zinku, která stéká dolů vlivem zavěšení v korozní komoře.

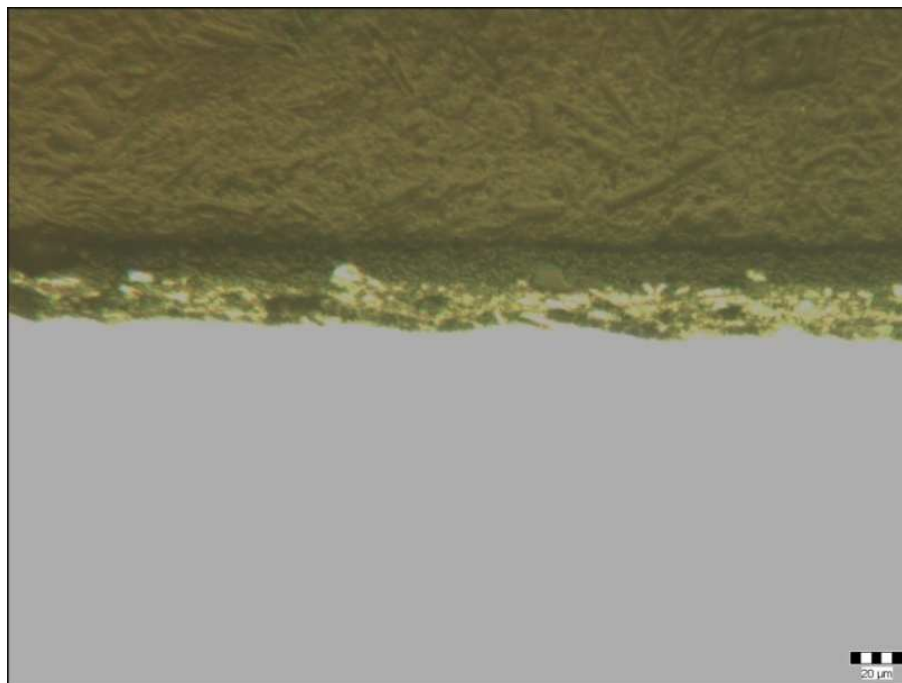
Zkušebna VŠB-TU Ostrava		
Protokol o korozní zkoušce		
Korozní zkouška v neutrální solné mlze dle ČSN EN ISO 9227		
Koncentrace chloridu sodného: 50 g/l ± 5 g/l		
pH roztoku: 6,5 až 7,2		
Celková doba zkoušky: 360 h		
Počet vzorků: 3 ks		
Předmět zkoušky: vznik koroze na zkušebním vzorku v místě opotřebení povlaku <ul style="list-style-type: none"> ➤ vzorek č. 1 – povlak SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný ➤ vzorek č. 2 – povlak 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný ➤ vzorek č. 3 – povlak C642 + 2 x Deltacoll 		
Výsledky zkoušky		
Vz.č.	Doba zkoušky [h]	popis zkušebních vzorků
1	24	V místě opotřebení a po povrchu vzorku nejsou žádné patrné známky vzniku bílé koroze zinku.
2	24	V místě opotřebení a po povrchu vzorku nejsou žádné patrné známky vzniku bílé koroze zinku.
3	24	Počátek bílé koroze zinku na všech místech opotřebení. Bílá koroze zinku zamezuje přístupu korozního prostředí v místě opotřebení k podkladovému kovu. Nejvíce patrný vznik bílé koroze zinku je v místě opotřebení po 8000 otáčkách rotující kuličky, kde začíná bílá koroze zinku stékat po vzorku.
1	360	Velký nárůst hmotnosti vzorku je způsoben vznikem bílé koroze zinku po celém povrchu vzorku, která chrání podkladový kov bariérovým účinkem. Stečená bílá koroze zinku dole je způsobená zavěšením v solné komoře. Roztok stéká po vzorku a v dolní části zůstává déle.
2	360	Na celém povrchu vzorku vzniká bílá koroze zinku. Stékání bílé koroze je způsobeno zavěšením v solné komoře.
3	360	V místě opotřebení bílá koroze zinku postupuje dále od krajů a začíná stékat po vzorku. Nejvyšší vznik bílé koroze zinku je v místě opotřebení po 4000 otáčkách, 2000 otáčkách a po 1000 otáčkách, 500 otáčkách se bílá koroze zinku v místě opotřebení neztvrdí.

Tab. č. 11: Protokol o korozní zkoušce.

5.3 Tloušťka povlaků

Pomocí metody kolmého řezu jsou měřeny tloušťky následujících povlaků:

- SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný



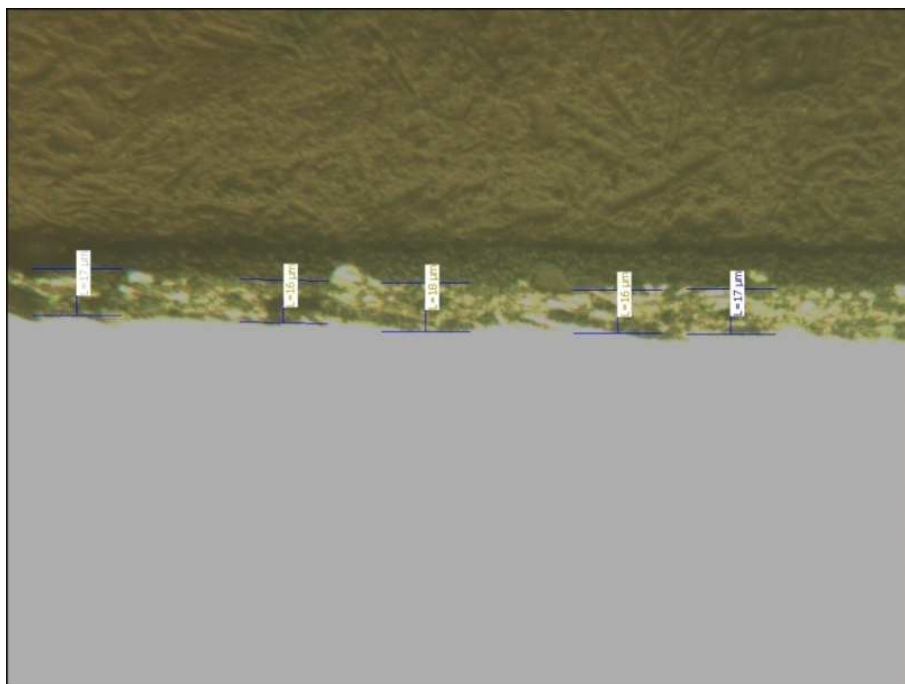
Obr. č. 66: Celková tloušťka povlaku SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný, (200 x).

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	29	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	27	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	30	μm	Střední hodnota	29,2	μm
Úsečka	Délka	4	28	μm	Sm. odchylka	1,7	μm
Úsečka	Délka	5	31	μm			
Úsečka	Délka	6	27	μm			
Úsečka	Délka	7	31	μm			
Úsečka	Délka	8	32	μm			
Úsečka	Délka	9	28	μm			
Úsečka	Délka	10	29	μm			

Tab. č. 12: Celková tloušťka povlaku SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný.

Střední hodnota celkové tloušťky povlaku SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný je 29,2 μm.

- první vrstva povlaku Delta-Protekt KL 100 stříbrný



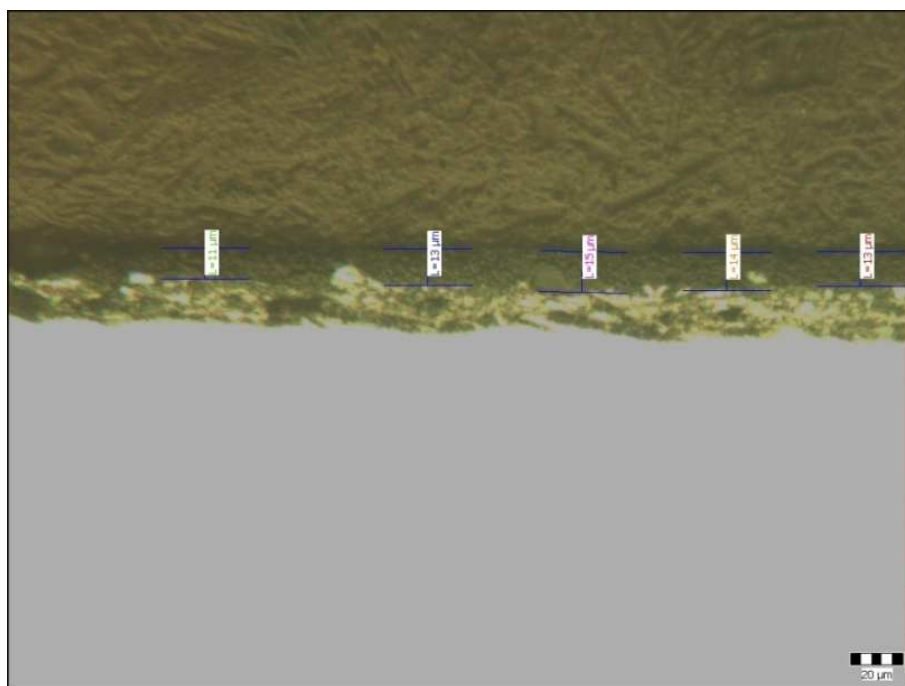
Obr. č. 67: Tloušťka první vrstvy povlaku Delta-Protekt KL 100 stříbrný, (200 x).

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	16	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	18	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	17	μm	Střední hodnota	15,9	μm
Úsečka	Délka	4	18	μm	Sm. odchylka	1,9	μm
Úsečka	Délka	5	12	μm			
Úsečka	Délka	6	16	μm			
Úsečka	Délka	7	17	μm			
Úsečka	Délka	8	14	μm			
Úsečka	Délka	9	14	μm			
Úsečka	Délka	10	17	μm			

Tab. č. 13: Tloušťka první vrstvy povlaku Delta-Protekt KL 100 stříbrný.

Střední hodnota tloušťky první vrstvy povlaku Delta-Protekt KL 100 stříbrný je 15,9 μm.

- druhá vrstva povlaku Delta-Protekt KL 100 stříbrný



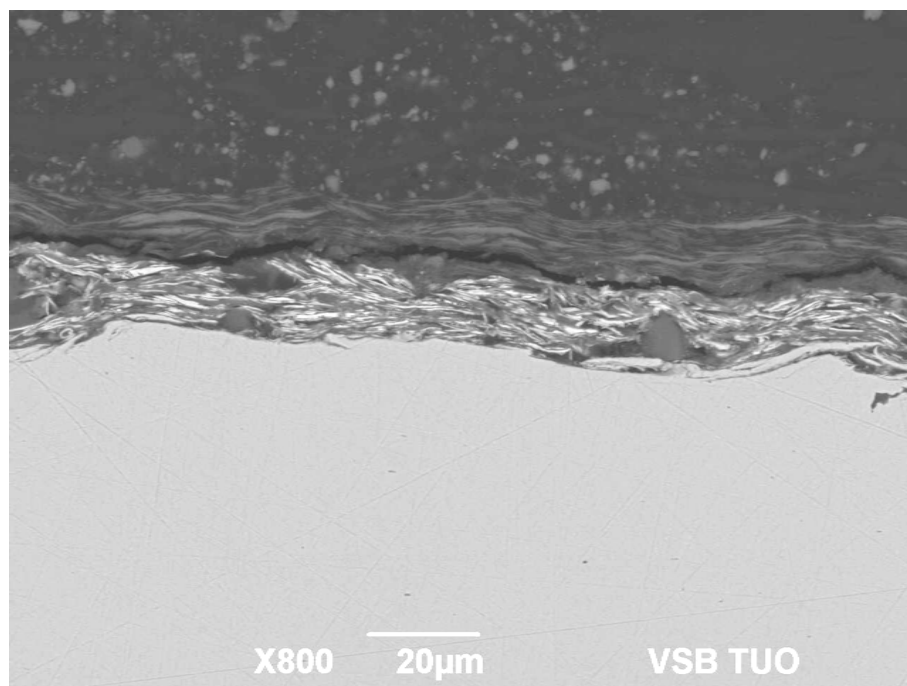
Obr. č. 68: Tloušťka druhé vrstvy povlaku Delta-Protekt KL 100 stříbrný, (200 x).

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	13	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	12	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	15	μm	Střední hodnota	13,1	μm
Úsečka	Délka	4	14	μm	Sm. odchylka	1,1	μm
Úsečka	Délka	5	13	μm			
Úsečka	Délka	6	13	μm			
Úsečka	Délka	7	12	μm			
Úsečka	Délka	8	11	μm			
Úsečka	Délka	9	14	μm			
Úsečka	Délka	10	14	μm			

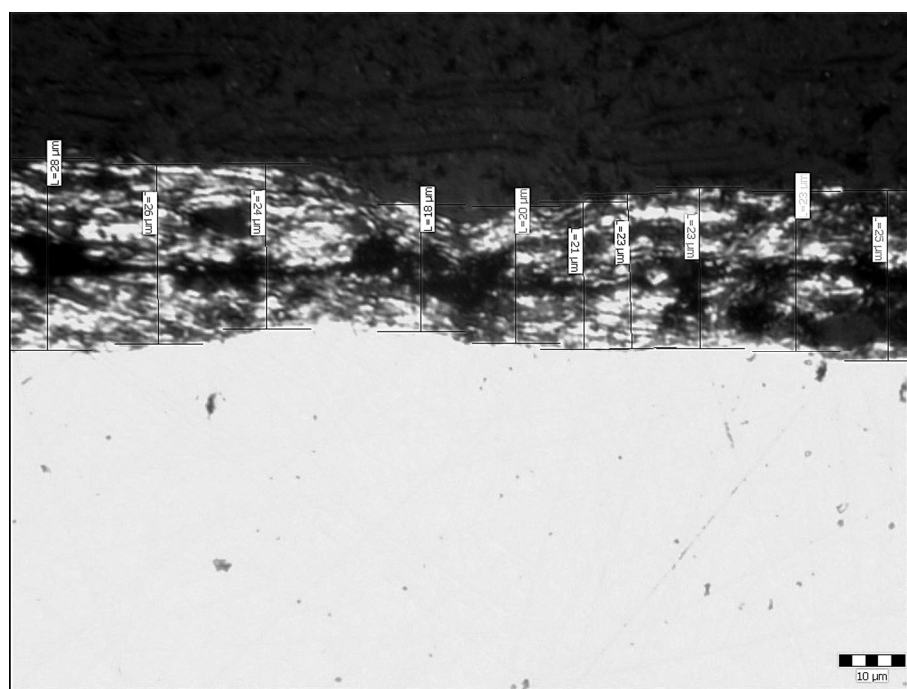
Tab. č. 14: Tloušťka druhé vrstvy povlaku Delta-Protekt KL 100 stříbrný.

Střední hodnota tloušťky druhé vrstvy povlaku Delta-Protekt KL 100 stříbrný je 13,1 μm.

- 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný



Obr. č. 69: Struktura povlaku 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný pořízena metodou REM.



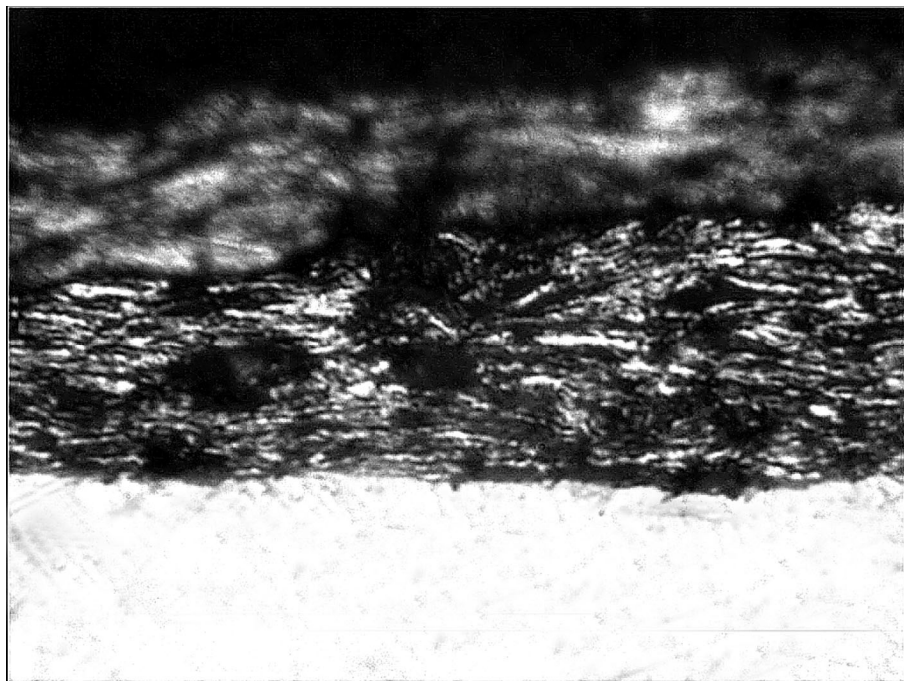
Obr. č. 70: Celková tloušťka povlaku 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný, (500 x).

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	28	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	26	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	24	μm	Střední hodnota	23,1	μm
Úsečka	Délka	4	18	μm	Sm. odchylka	2,8	μm
Úsečka	Délka	5	21	μm			
Úsečka	Délka	6	23	μm			
Úsečka	Délka	7	23	μm			
Úsečka	Délka	8	25	μm			
Úsečka	Délka	9	23	μm			
Úsečka	Délka	10	20	μm			

Tab. č. 15: Celková tloušťka povlaku 2 × Delta-Tone 9000 + 2 × Delta-Seal stříbrný.

Střední hodnota celkové tloušťky povlaku 2 × Delta-Tone 9000 + 2 × Delta-Seal stříbrný je 23,1 μm.

– 2 × Delta-Tone 9000



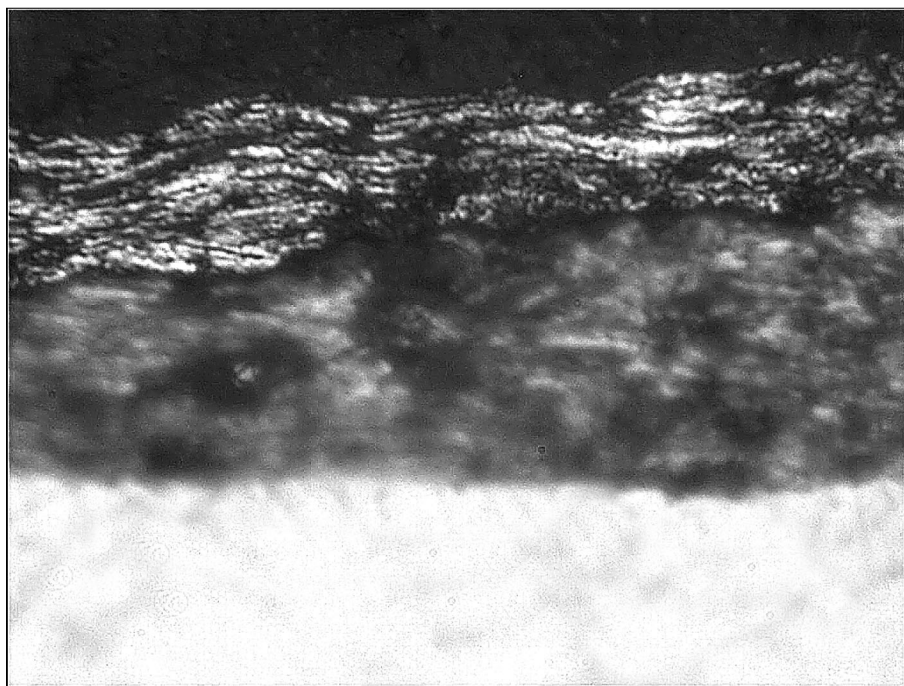
Obr. č. 71: Tloušťka základního povlaku 2 × Delta-Tone 9000, (1000 x).

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	13	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	12	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	11	μm	Střední hodnota	12,6	μm
Úsečka	Délka	4	12	μm	Sm. odchylka	0,9	μm
Úsečka	Délka	5	13	μm			
Úsečka	Délka	6	12	μm			
Úsečka	Délka	7	14	μm			
Úsečka	Délka	8	13	μm			
Úsečka	Délka	9	14	μm			
Úsečka	Délka	10	12	μm			

Tab. č. 16: Tloušťka základního povlaku 2 x Delta-Tone 9000.

Střední hodnota tloušťky základního povlaku 2 x Delta-Tone 9000 je 12,6 μm.

– 2 x Delta-Seal stříbrný



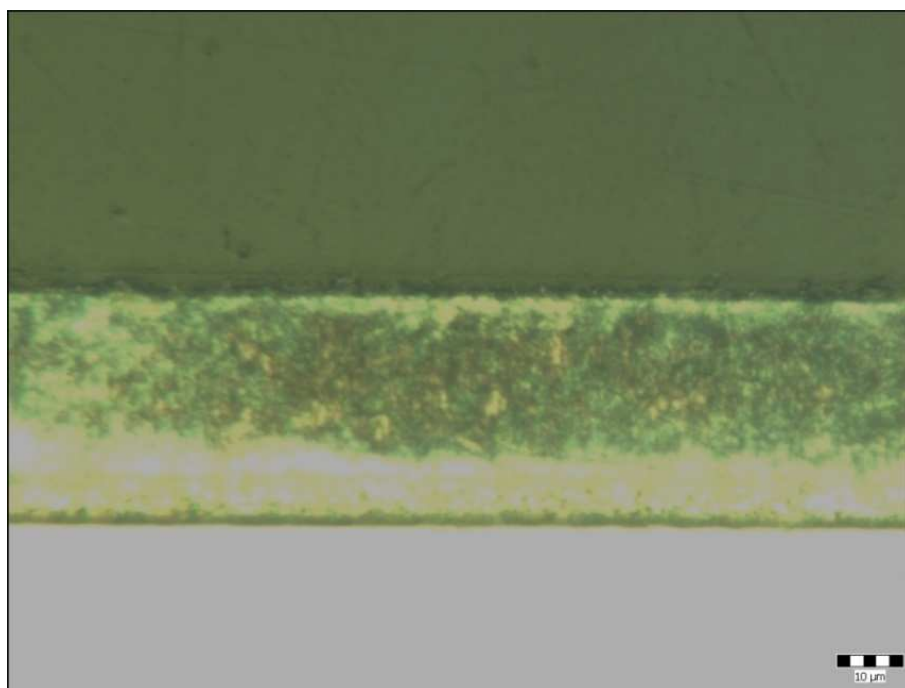
Obr. č. 72: Tloušťka vrchního povlaku 2 x Delta-Seal stříbrný, (1000 x).

Typ objektu	Druh	Číslo	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	10	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	12	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	11	μm	Střední hodnota	10,4	μm
Úsečka	Délka	4	9	μm	Sm. odchylka	1,3	μm
Úsečka	Délka	5	9	μm			
Úsečka	Délka	6	9	μm			
Úsečka	Délka	7	10	μm			
Úsečka	Délka	8	11	μm			
Úsečka	Délka	9	13	μm			
Úsečka	Délka	10	10	μm			

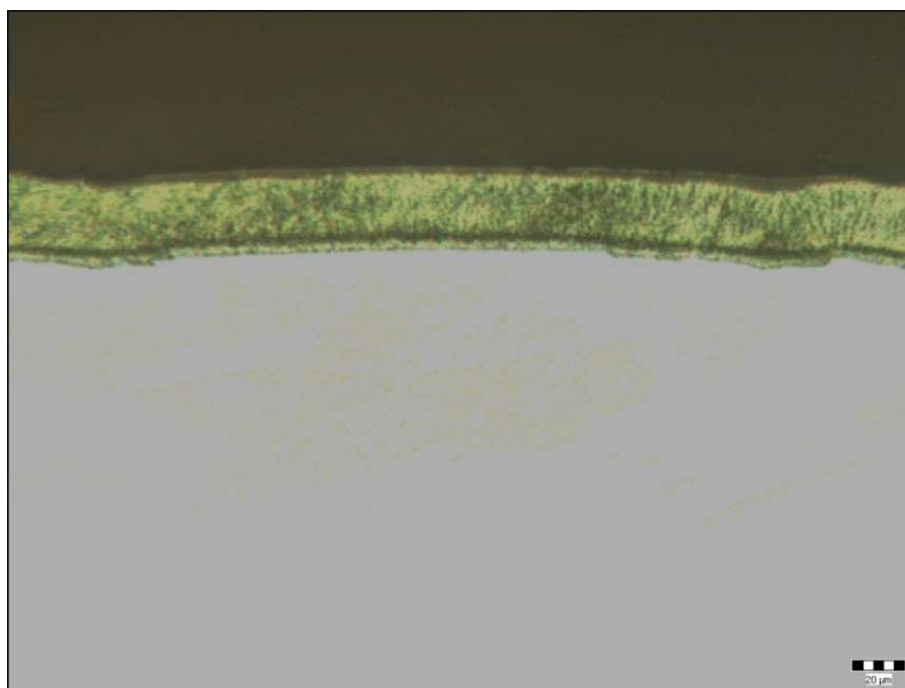
Tab. č. 17: Tloušťka vrchního povlaku 2 × Delta-Seal stříbrný.

Střední hodnota tloušťky vrchního povlaku 2 × Delta-Seal stříbrný je 10,4 μm.

➤ C642 + 2 × Deltacoll



Obr. č. 73: Celková tloušťka povlaku C642 + silnovrstvá pasivace bez Cr⁺⁶ + 2 × Deltacoll, (500 x).



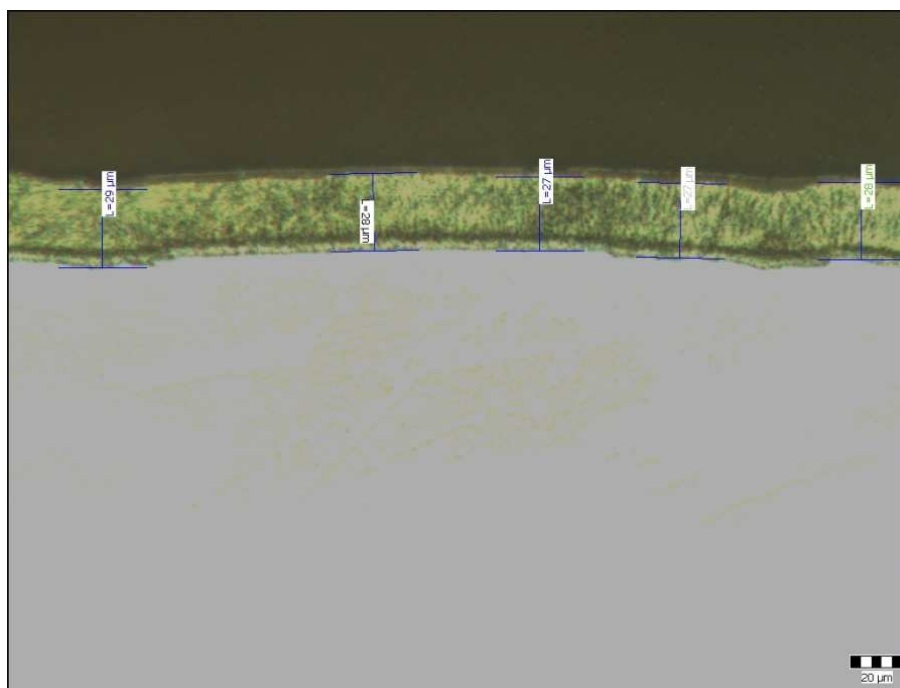
Obr. č. 74: Celková tloušťka povlaku C642 + 2 × Deltacoll, (200 x).

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	33	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	34	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	31	μm	Střední hodnota	32,3	μm
Úsečka	Délka	4	32	μm	Sm. odchylka	1,3	μm
Úsečka	Délka	5	33	μm			
Úsečka	Délka	6	31	μm			
Úsečka	Délka	7	30	μm			
Úsečka	Délka	8	33	μm			
Úsečka	Délka	9	34	μm			
Úsečka	Délka	10	32	μm			

Tab. č. 18: Celková tloušťka povlaku C642 + 2 × Deltacoll.

Střední hodnota celkové tloušťky povlaku C642 + 2 × Deltacoll je 32,3 μm.

– C642



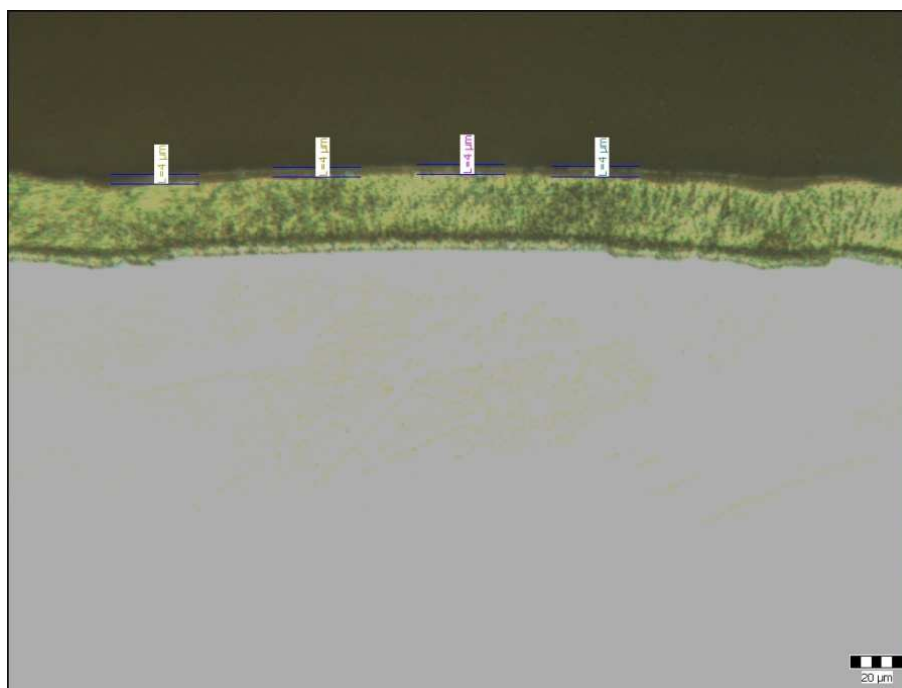
Obr. č. 75: Tloušťka základního povlaku C642, (200 x).

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	29	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	27	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	27	μm	Střední hodnota	27,9	μm
Úsečka	Délka	4	28	μm	Sm. odchylka	1,6	μm
Úsečka	Délka	5	26	μm			
Úsečka	Délka	6	27	μm			
Úsečka	Délka	7	27	μm			
Úsečka	Délka	8	28	μm			
Úsečka	Délka	9	28	μm			
Úsečka	Délka	10	32	μm			

Tab. č. 19: Tloušťka základního povlaku C642.

Střední hodnota tloušťky základního povlaku C642 je 27,9 μm.

– 2 x Deltacoll



Obr. č. 76: Tloušťka vrchního povlaku 2 x Deltacoll, (200 x).

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	4	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	4	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	4	μm	Střední hodnota	4,2	μm
Úsečka	Délka	4	4	μm	Sm. odchylka	0,4	μm
Úsečka	Délka	5	4	μm			
Úsečka	Délka	6	4	μm			
Úsečka	Délka	7	4	μm			
Úsečka	Délka	8	5	μm			
Úsečka	Délka	9	4	μm			
Úsečka	Délka	10	5	μm			

Tab. č. 20: Tloušťka vrchního povlaku 2 x Deltacoll.

Střední hodnota tloušťky vrchního povlaku 2 x Deltacoll je 4,2 μm.

Z důvodu získání co nejpřesnější střední hodnoty tloušťky povlaku a z nerovnoměrného naneseného povlaku jsem u každého povlaku měření opakoval desetkrát. Z naměřených deseti hodnot tloušťky povlaků jsem vypočítal střední hodnoty tloušťky povlaků. Nejprve jsem změřil celkovou tloušťku u jednotlivých povlaků. Poté jsem změřil tloušťku základního a vrchního povlaku. Při sečtení středních hodnot tloušťky základního a vrchního povlaku musí vyjít celková tloušťka povlaku. Celkové střední hodnoty při sečtení základního a vrchního povlaku vychází u všech jednotlivých povlaků. Nejnižší tloušťka je u povlaku 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný, kde byla naměřena střední hodnota tloušťky 23,1 μm a vyhovuje podle normy VW TL 233. U povlaku SVUM A 2 x Delta-Protekt KL 100 stříbrný jeho střední hodnota tloušťky činí 29,2 μm a

přesahuje maximální tloušťku povlaku uvedenou podle normy. Z toho důvodu, že povlak není rovnoměrně nanesen po povrchu, může střední hodnota tloušťky přesáhnout maximální dovolenou tloušťku povlaku uvedenou podle normy. Překročení maximální dovolené tloušťky povlaku není na závadu z toho důvodu, protože se u součásti nesníží uvedená korozní ochrana, jako by tomu bylo u snížení minimální tloušťky povlaku. U povlaku C642 + 2 × Deltacoll došlo překročení maximální tloušťky povlaku ze stejných důvodů jako u předchozího povlaku, ale to nevede kvůli nesnížení garantované korozní ochrany. U povlaku C642 + 2 × Deltacoll je v měření zahrnuta silnovrstva pasivace bez Cr^{+6} , která činí podle normy 2 μm a celková tloušťka povlaku je 32,3 μm .

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo ověření a vyhodnocení mechanických a fyzikálních vlastností povlaků s neelektrolytickými nanesenými Zn lamelami. Pro vyhodnocení mechanických a fyzikálních vlastností jsem použil zkušební vzorky s povlaky SVUM A 2 x Delta-Protékt KL 100 stříbrný, 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný a C642 + 2 x Deltacoll. První zkouška byla provedena pro ověření odolnosti proti adheznímu opotřebení na zkušebním zařízení. Největší hloubka otěru vznikla u povlaku C642 + 2 x Deltacoll a u ostatních dvou povlaků docházelo na povrchu ke grafitizaci a při 8000 otáčkách došlo k hloubce otěru 3 μm . Pro zjištění většího opotřebení bylo měření provedeno u povlaku 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný, kde bylo zanecháno nejmenší opotřebení po rotující kuličce. Po 50 000 otáček až 300 000 otáček na zkušebním vzorku s povlakem 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný nedošlo k větší hloubce otěru než 3 μm .

U korozní zkoušky v neutrální solné mlze byla u povlaků potvrzena vynikající korozní ochrana, kde se žádném zkušebním vzorku, nevyskytla koroze podkladového kovu po 360 h korozní komoře. Nejnižší hmotnostní nárůst byl u povlaku 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný na, kterém po 360 h v korozní komoře se vytvářely na celém povrchu v malé míře objemové korozní produkty zinku, které chránili podkladový kov před průnikem korozního prostředí k podkladovému kovu. Nejvyšší hmotnostní nárůst byl u povlaku SVUM A 2 x Delta-Protékt KL 100 stříbrný, kde docházelo ve větší míře vytváření objemových korozních produktů zinku po celém povrchu vzorku. U povlaku C642 + 2 x Deltacoll vznikají v místech opotřebení objemové korozní produkty zinku, které postupují dále od krajů a začínají stékat po vzorku.

Nejlepší tribologické a korozní vlastnosti má povlak 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný, i když ostatní typy povlaků s jejich vlastnostmi byly horší zcela zanedbatelně. Neelektrolyticky nanesené povlaky pro své výborné tribologické vlastnosti a vhodnou korozní odolnost při dlouhodobém vysokém teplotním namáhání by se mohli využívat jako ochranná vrstva na kluzných plochách pláště pístu. Povlak nanesený na kluzných plochách pláště pístu by poskytoval vynikající ochranu proti opotřebení a odolnost proti otěru i při pracovních teplotách motoru, které se vyskytují na plášti pístu do 150 °C. Vrchní povlak s mazivem nanesený na kluzných plochách pláště pístu by usnadňoval rozběh zatěžovaného studeného motoru. Při krátkodobé poruše mazání ve stykových plochách pístu a válce by povlak nanesený na plášti pístu díky svým kluzným vlastnostem zamezil zadření pístu.

U měření tloušťky povlaků jsem naměřil nejnižší tloušťku u povlaku 2 x Delta-Tone 9000 + 2 x Delta-Seal stříbrný, kde byla naměřena střední hodnota tloušťky 23,1 μm a je v rozmezí tloušťky, kterou uvádí norma VW TL 233. U povlaků SVUM A 2 x Delta-Protékt KL 100 stříbrný a

C642 + 2 × Deltacoll došlo k překročení maximální tloušťky povlaků o 4 μm a 7 μm z důvodu nerovnoměrného nanesení povlaků na povrchu zkušebních vzorků, a přitom se nesníží, naopak zvýší garantovaná korozní ochrana. Z důvodů výborných tribologických vlastností a výborné korozní odolnosti mají povlaky s neelektrolytickými nanášenými Zn lamelami široké využití v automobilovém průmyslu.

Poděkování

Mé poděkování patří vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Františku Kristoforymu, CSc., za jeho cenné rady a připomínky při zpracování této práce. Rád bych také poděkoval paní Ing. Xenii Ševčíkové, která mi umožnila a pomohla provést experimenty na zkušebních vzorcích a byla mi ochotně nápomocna při zpracování mé experimentální části bakalářské práce. Dále bych poděkoval firmě SVUM-CZ, s.r.o. za dodání zkušebních vzorků. Zvláštní poděkování patří mým rodičům, kteří mi umožnili studovat tuto vysokou školu.

7 Seznam použité literatury

- [1] KREIBICH, Viktor. *Příčiny a důsledky nevhodných aplikací povrchových úprav*. Praha: ČVUT, 2004. 29s. Fakulta strojní.
- [2] HLAVÁČEK, V; KREIBICH, V. *Povlaky s mikrolamelami zinku*, MM – průmyslové spektrum. 2004, říjen, s. 30.
- [3] KREIBICH, V; VYŠOHLÍD, V. *Zinkové povlaky v lakovnách*, MM – průmyslové spektrum. 2004, říjen, s. 38.
- [4] SOJKA, J. *Technologie povrchových úprav pevnostních konstrukčních prvků osobních vozidel* [online]. Pardubice, 2008. 83 s. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků. Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Libor Beneš. Dostupné z WWW: <<http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/28662/1/text.pdf>>.
- [5] ČSN EN ISO 10683 (02 1013). *Spojovací součásti – Neelektrolyticky nanášené povlaky ze zinkových mikrolamel*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 16 s.
- [6] ČSN EN 13858 (03 8542). *Ochrana kovů proti korozi – Neelektrolyticky nanášené mikrolamelové povlaky zinku na součástech ze železa nebo z oceli*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 16 s.
- [7] SEDLÁČEK, Vladimír. *Povrchy a povlaky kovů*. Praha: ČVUT, 1992. 176 s. Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská. ISBN 80 – 01–00799–5.
- [8] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: ČVUT, 1996. 89 s. Fakulta strojní. ISBN 80–01–01472–X.
- [9] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, 2006. 156 s. ISBN 80–248–1217–7.
- [10] KREIBICH, V; HOCH, K. *Koroze a technologie povrchových úprav. Návod ke cvičení*. Praha: ČVUT, 1992. 142 s. Fakulta strojní. ISBN 80–01–00750–2.
- [11] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, 1995. 156 s. ISBN 80–7078–267–6.
- [12] HLUCHÝ, M; HANĚK, V. *Strojírenská technologie 2–2. díl: Koroze, základy obrábění, výrobní postupy*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2001. 176 s. ISBN 80–7183–245–6.
- [13] *Povrchová úprava* [online]. Hradec Králové: Pacht-IMPEA, Červen 2004 - [cit. 2010-02-25]. Měsíčník. Dostupné z WWW: <<http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2004-06.pdf>>.

- [14] *Povrchová úprava* [online]. Hradec Králové: Pachtá-IMPEA, Září 2006 - [cit. 2010-02-26]. Měsíčník. Dostupné z WWW: <<http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/časopisy/pu-2006-09.pdf>>.
- [15] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 1994. 76 s. ISBN 80-7078-235-8.
- [16] *Dörken MKS-SYSTEME GmbH & Co.KG: Products / Systems*: [online].c2000-2010, změněno 22.4.2010 [cit. 2010-04-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.doerken-mks.de/en/products-systems.html>>.
- [17] *Delta-Protekt KL 100 130604_TM_DP_KL_100_(GB)_bb*. [online]. 26.6.2006 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <http://www.uysalkaplama.com/assets/pdf/130604_TM_DP_KL_100_%28GB%29_bb.pdf>.
- [18] KADLEC, Jaromír. *Metodika hodnocení vlastností duplexních povlaků*. 1. vyd. Brno: Univerzita obrany, 2007. 28 s. ISBN 978-80-7231-266-5.
- [19] ČSN EN ISO 9227 (03 8132). *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 24 s.
- [20] TL 233. *Neelektrolytický nanosené povlaky ze zinkových lamel s krycí vrstvou : Požadavky na povrchovou ochranu*. [s.l.] : Volkswagen AG, 2003. 7 s.